

## الفصل الخامس

### الوصلات القصية - تصميم الجيزان المركبة

#### SHEAR CONNECTORS - DESIGN OF COMPOSITE BEAMS

##### 5-1 المقدمة Introduction

إن أفضل السبل والترتيبات الواجب اتخاذها لربط مادتين (أو أكثر) مع بعضهما هو خلق آلية عمل قصي تجعل المادتين تعملان مع بعضهما بمثابة كيان واحد لمقاومة الحمولات الخارجية المطبقة من دون حصول انزلاق بينهما. وهكذا فإن آلية ربط بلاطة البيتون المسلح مع الجيزان الفولاذية هو الوصلات القصية التي تعمل على جعل المقطع المركب يعمل على شكل مقطع "تي". يجب تصميم الوصلات القصية الميكانيكية لمنع الحركة النسبية بين بلاطة البيتون المسلح والجائز الفولاذي سواء في الاتجاه الأفقي أو الاتجاه الشاقولي. يجب ألا يتجاوز التباعد بين الوصلات القصية طولانيا 3 إلى 4 مرات ارتفاع البلاطة البيتونية المسلحة بشكل عام. إن تصميم المقطع المركب يعتمد على مدى مقاومة القص الأفقي بين البلاطة البيتونية والجائز الفولاذي. فكلما كان الالتحام بين البلاطة والجائز متيناً كلما كان الفعل المركب أقوى. ويعتمد الفعل المركب على كل من الالتحام الناتج عن الوصلات القصية والاحتكاك بين المادتين عند مستوي التماس. يعالج هذا الفصل كيفية تصميم الوصلات القصية لتأمين الفعل المركب التام والجزئي ومن ثم كيفية تصميم المقطع المركب.

##### 5-2 الوصل القصي Shear Connection

إن هدف الوصل القصي هو منع الحركة بين البلاطة والجائز الفولاذي ويمكن بناءً على ذلك تمييز الأنواع التالية للوصلات القصية المستعملة حالياً:



الوصلات الصلبة **Rigid Connectors** : وهي غير مرنة وتبقى هكذا حتى ضمن الحالة المرحلية (اللدنة) إلى أن يتم الانهيار .

الوصلات نصف صلبة **Semi-rigid Connectors** : وهي أكثر مرونة وتصل إلى حد الخضوع قبل أن يتم سحق البيتون المجاور .

وصلات الالتحام **Bond Connectors** : وتعتمد كما يشير اسمها وبشكل كامل على إجهادات الالتحام بين البيتون المجاور للوصلات والوصلات لتطويع الإرساء ( إرساء البلاطة على الجائز الفولاذي ) .

وهكذا فإنه عندما يتم تصميم الوصلات القصية بشكل ملائم فإنه يمكن لاستطاعة المقطع المركب أن تصل مع زيادة الحمولة إلى استطاعة الانعطاف الحدية (Ultimate Bending Capacity) قبل أن يحصل الانهيار بالقص . تعتمد إجهادات الضغط المسموحة وإجهادات الالتحام على مقاومة البيتون . إنه من الأهمية بمكان وضع تباعدات مناسبة بين الوصلات القصية المتتالية (Consecutive Shear Connectors) من أجل مساهمة أكبر مساحة ممكنة من البيتون ومن أجل تفادي أي خلل عند أي مستوى للقص في البيتون طولانياً (Longitudinally) ومماسياً (Tangentially) للوصلات القصية .

يبين الشكل (5-1) كيفية إجراء تجربة الدفع (Push-off Test) . تعطي المعادلة التالية العلاقة بين الانزلاق الوسطي والحمولة المطبقة على كل وصلة قصية أو :

$$Q = a[1 - e^{-b\delta}] \quad (5-1)$$

حيث :

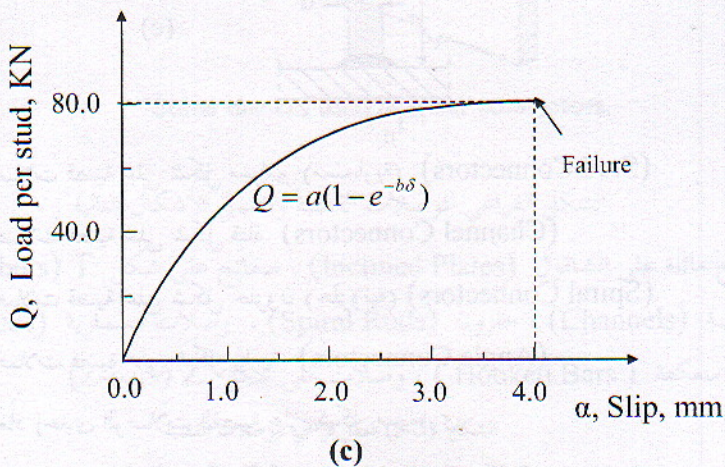
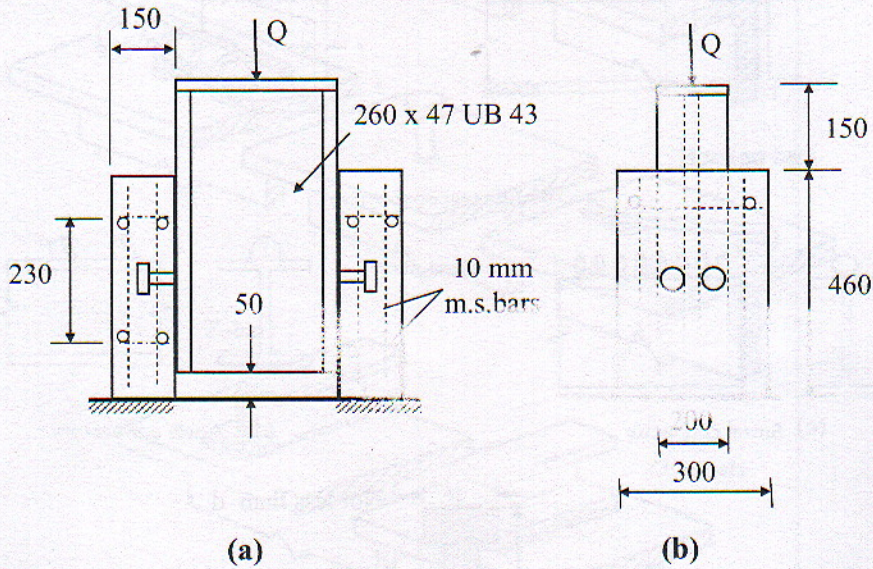
$Q$  = الحمولة المطبقة على كل وصلة قصية

$\delta$  = الانزلاق Slip مقدراً بـ mm

$a, b$  = ثوابت تجريبية

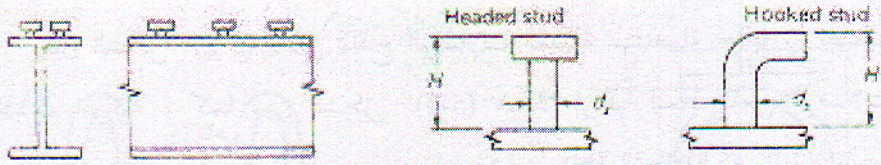


يبين الشكل (5-2) بعض نماذج الوصلات القصية المستعملة حالياً في تصميم المنشآت المركبة ، كما يبين الشكل (5-3) شكلاً فراغياً لنماذج من الوصلات القصية. ويبين الشكل (5-4) تفصيلاً لتثبيت الوصلات القصية في بلاطة بيتونية مسلحة ذات سماكة ثابتة ثم بلاطة ذات سماكة متغيرة .

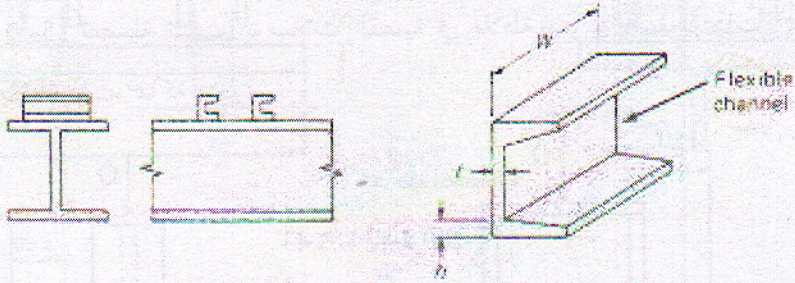


الشكل (5-1) تجربة الدفع (Push-off Test)

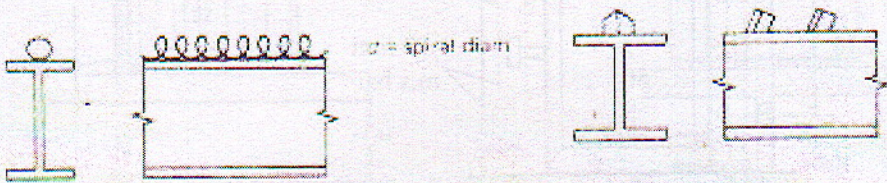




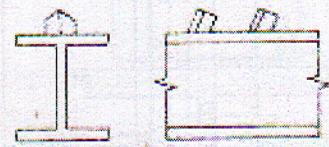
(a) Stud connectors



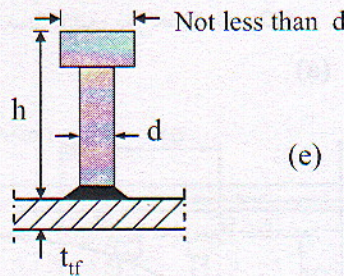
(b) Channel connectors



(c) Spiral connector



(d) Angle connectors



(e)

(a) وصلات قصية على شكل مسامير (مسمارية) (Stud Connectors)

(b) وصلات قصية على شكل قناة (Channel Connectors)

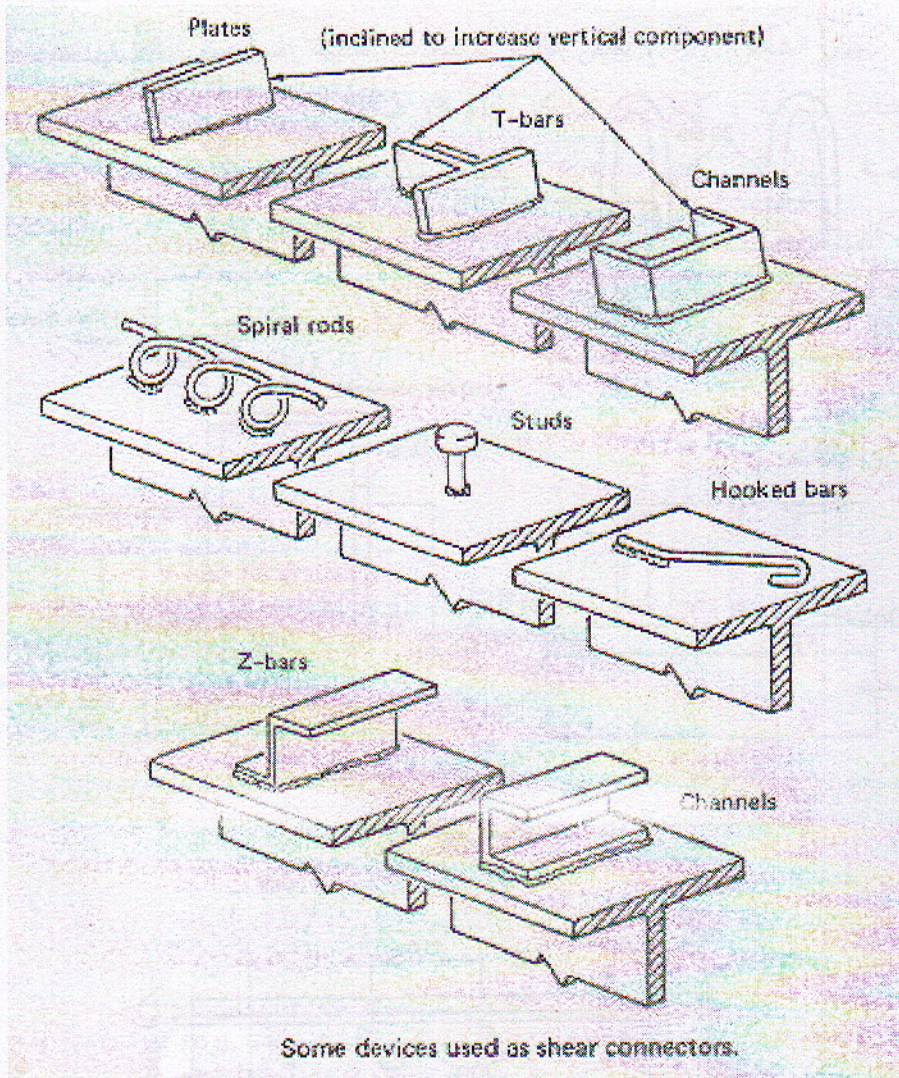
(c) وصلات قصية على شكل حلزون (حلزونية) (Spiral Connectors)

(d) وصلات قصية على شكل زاوية (Angle Connectors)

(e) أبعاد إحدى الوصلات القصية على شكل مسماري

الشكل (5-2) بعض من نماذج الوصلات القصية



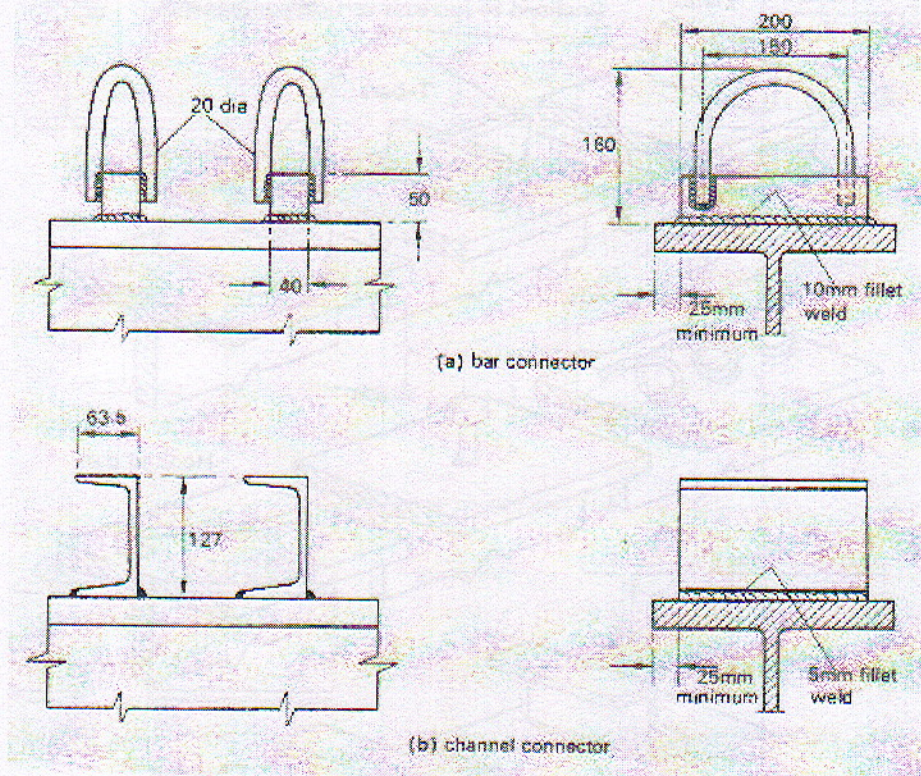


الشكل الفراغي للوصلات القصية ويشمل الأشكال التالية :

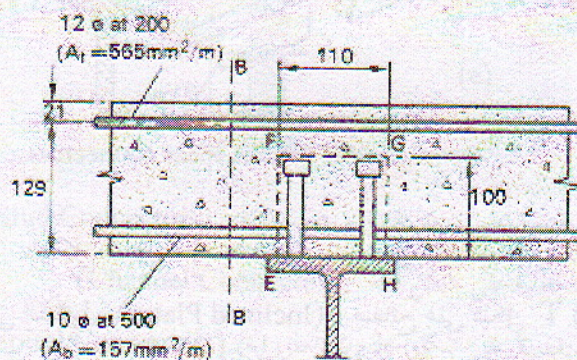
صفائح مائلة على الشاقول (Inclined Plates) ، صفائح على شكل T (T-bars)  
 أقنية (Channels) ، حلزون (Spiral Rods) ، وصلات مسمارية (Studs)  
 قضبان منعكفة (Hooked Bars) ، وصلات على شكل Z (Z-bars)

الشكل (5-3) شكل فراغي للوصلات القصية



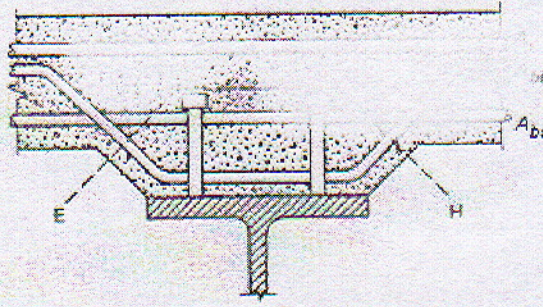


الشكل (5-4) نماذج من وصلات قصية منفذة



- (a) بلاطة ذات سماكة ثابتة مسلحة بشبكي تسليح مع وصلات قصية ، ويمثل الخط EFGH مستوي القص حول الوصلات القصية .





(h) بلاطة حديدية المسلحة أيضاً بشبكتي تسليح مع وصلات القصية . يتم توزيع إجهاد القص حول الوصلات القصية . حيث :

$$A_{ts} = \text{مقطع فولاذ التسليح العلوي}$$

$$A_{bs} = \text{مقطع فولاذ التسليح السفلي}$$

$$A_{bs} = \text{مقطع التسليح اللازم لقسم البلاطة البارز}$$

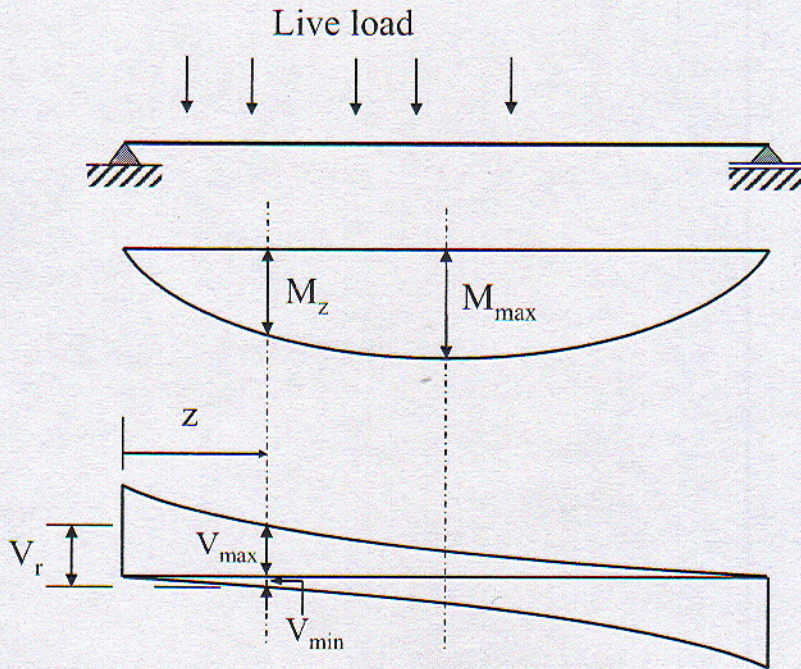
الشكل (5-5) تفاصيل تثبيت الوصلات القصية في بلاطة بيتونية مسلحة

### 5-3 القص الطولي Longitudinal Shear

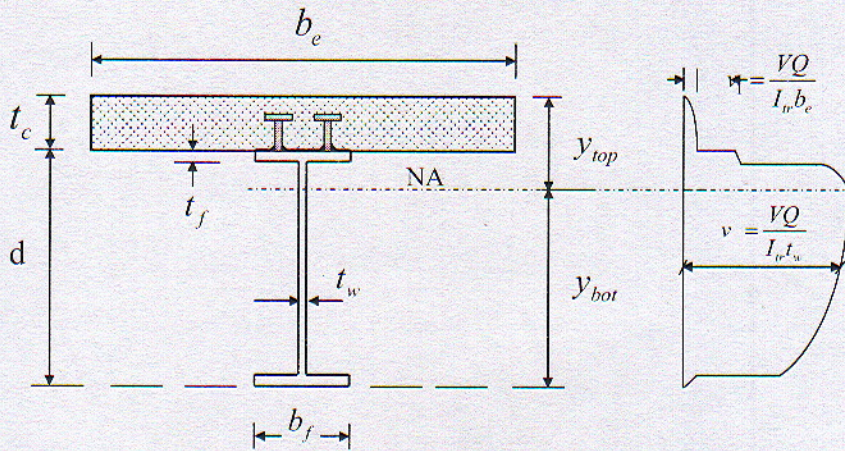
يبين الشكل (5-6.a) مغلف كل من عزم الانعطاف والجهد القاطع لحمولة موزعة بانتظام على جائر بسيط . يتبين من هذا المخطط أنه يتم الحاجة إلى الوصلات القصية بصورة أكبر قرب نهايتي الجائر منه في منتصف الجائر . ويبين الشكل الآخر (5-6.b) مخطط توزيع إجهاد القص في المقطع المركب في مكان من الجائر على بعد  $z$  من المسند اليساري . يمكن إعطاء إجهاد القص عند مستوى التلاقي بين السطح السفلي للبلاطة والسطح العلوي للجائر الفولاذي والناتج عن اتصال المستويين (فعل مركب) بالعلاقة البسيطة التالية من مقاومة المواد :

$$v_1 = \frac{VQ}{I_n b_e} , \quad q = v_1 b_e = \frac{VQ}{I_n}$$





(a) مغلف الجهد القاطع لحمولة حية متحركة



(b) توزيع إجهادات القص في المقطع العرضي المركب

الشكل (5-6) مخطط توزيع إجهاد القص



حيث :

$V$  = قوة القص الناتجة عن الحمولات المطبقة على المقطع المركب (بعد تصلب البلاطة البيتونية: كل الحمولات لأجل المنشآت المزودة بدعائم مؤقتة ، الحمولات الحية لأجل المنشآت غير المزودة بدعائم مؤقتة)

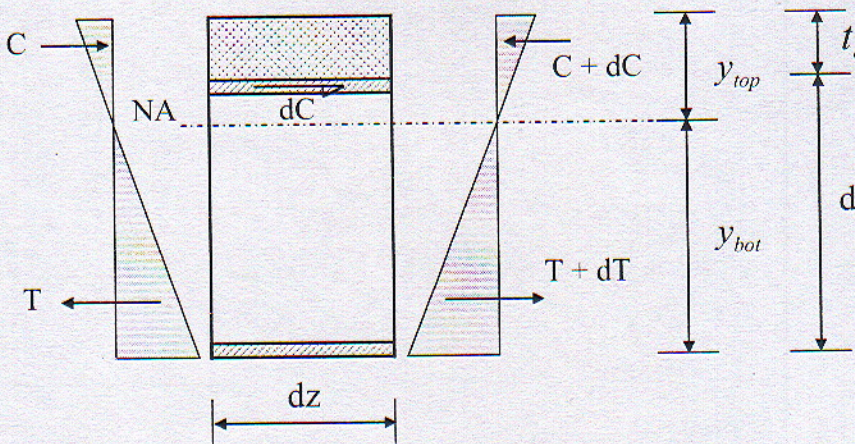
$I_{tr}$  = عزم عطالة المقطع المركب المتجانس

$Q$  = العزم الستاتيكي للمساحة الكائنة فوق ( أو أسفل ) النقطة المعتبرة نسبة إلى

المحور المحايد للمقطع المركب المتجانس . وهنا يساوي العزم الستاتيكي لمساحة البلاطة البيتونية المضغوطة المحولة إلى فولاذ مكافئ حول المحور المحايد للمقطع المركب ( أما في المنطقة السالبة فيؤخذ العزم الستاتيكي لفولاذ التسليح الطولاني الواقع ضمن العرض الفعال للبلاطة)

$b_e$  = العرض الفعال للبلاطة البيتونية

يتغير الإجهاد كما هو مبين تحت تأثير الحمولة من قيمة أصغر في منتصف الجائز إلى قيمة أعظم عند الأطراف . لنعتبر توازن شريحة عنصرية Elemental Slice من الجائز كما هو مبين في الشكل (5-7) . إن قوة القص في واحدة الطول :



الشكل (5-7) توازن شريحة عنصرية



$$\frac{dc}{dz} = v_1 b_e = \frac{VQ}{I_{tr}} \quad (5-2)$$

ويمكن كتابة القوة المؤثرة في الوصلة القصية أو استطاعة الوصلة القصية على النحو الآتي:

$$q_s = \frac{VQ}{I_{tr}} s \frac{1}{n_{row}} \quad (5-3)$$

حيث :

$s$  = التباعد الأعظم بين الوصلات القصية (Spacing)

$n_{row}$  = عدد صفوف الوصلات القصية طولانياً (أو عدد الوصلات القصية في المقطع العرضي)

(العرضي)

أما تباعد الوصلات القصية طولانياً فيمكن إيجاده من العلاقة التالية (5-3):

$$s = \frac{n_{row} q_{stud}}{VQ / I_{tr}} \quad (5-3a)$$

حيث :

$q_{stud}$  = استطاعة الوصلة القصية المرنة

$V$  = قوة القص الناتجة عن الحمولات الكائنة على المقطع المركب بعد تصلب البلاطة

لقد تم استعمال العلاقة (5-3-a) لتصميم تباعد الوصلات القصية حتى سنوات

متأخرة . وقد أعطت المواصفات الأمريكية AASHTO and AISC كما سنرى

لاحقاً العلاقات الأساسية لتصميم الوصلات القصية .

ويساوي إجهاد القص الوسطي (Average Shearing Stress) في الوصلة :

$$V_{st} = q_{stud} / A_{stud} \leq F_v \quad (5-4)$$

حيث :

$A_{stud}$  = مقطع الوصلة القصية



$F_v =$  الإجهاد المسموح على القص لقولاذ الوصلة القصية

وتعتمد قيمة  $V$  في العلاقة (3-5) على سير التركيب والتنفيذ للمنشآت المركبة كما سنرى كانت المنشأة غير مزودة بإسقاطات مؤقتة فإنه يجب تصميم الوصلات القصية لتحمل الجهد القاطع  $V$  الواقع على المقطع

الحل في حساب الوصلات القصية إلا إذا كان الجوائز يستند على صب البلاطة البيتونية .

#### 5-4 الفعل المركب الجزئي Partial Composite Section

إن المقطع المركب الجزئي هو المقطع المركب الذي لا يحتوي على العدد الكامل من الوصلات القصية لأجل عملية الفعل المركب التام . وينهار المقطع في حالة الفعل المركب الجزئي بواسطة انفلات البلاطة عن الجوائز بسبب انهيار الوصل القصي ، أما الانهيار في حالة الفعل المركب التام فيكون نتيجة لانسحاق بيتون البلاطة بالضغط .

إن أهم حالات وجود المقطع المركب الجزئي (Partial Composite Section) هي :

- 1- في حالة كون عزم الانعطاف المقاوم للمقطع المركب التام أكبر كثيراً من عزم الانعطاف المطبق.
- 2- حالة عدم استعمال كامل العدد المطلوب من الوصلات القصية لأجل الفعل المركب التام بسبب عدم اتساع عرض جناح الجوائز الفولاذي وطوله.
- 3- حالة التخفيف من تكاليف الإنشاء عن طريق استعمال عدد أقل من المطلوب للوصلات القصية.

ويجب في هذه الحالة استعمال معامل (دالة) المقطع الفعال التالي :



$$S_{eff} = S_s + \sqrt{V_h' / V_h} (S_{tr} - S_s) = M_{max} / F_b \quad (5-5)$$

حيث :

$S_{eff}$  = معامل المقطع المطلوب (معامل المقطع الفعال) لأجل مقاومة العزوم الناتجة عن

الحمولات الخارجية (Required Section Modulus)

$M_{max}$  = عزم الانعطاف الأعظم الناتج عن كل الحمولات الميتة ( وزن البلاطة +

الوزن الذاتي للجائز الفولاذي ) والحمولات الحية

$F_b$  = الإجهاد المسموح للفولاذ ( المقطع محكم ) : ( AISC )

$$F_b = 0.66 F_y$$

$V_h'$  = قوة القص الأفقية لأجل الفعل المركب الجزئي (Partial Composite Action)

على أن لا تقل قيمتها عن :

$$V_h' = N_1 q_{st} \geq \frac{1}{4} V_h$$

$N_1$  = عدد الوصلات القصية اللازمة لأجل الفعل المركب الجزئي وهو أقل من عدد

الوصلات القصية لأجل الفعل المركب التام  $N$  . ويجب أن تحقيق :  $N_1 < N$

$V_h$  = قوة القص الأفقية لأجل الفعل المركب التام (Complete Composite Action)

أو القص الأفقي الذي يجب مقاومته بين نقطة العزم الموجب الأعظم ونقطة العزم

صفر المجاورة. وتساوي إلى القيمة الأصغر مما يلي:

$$V_h = A_s F_y \quad \text{or} \quad V_h = 0.85 f_c' A_c \quad (5-6)$$

$A_s$  = مساحة مقطع الجائز الفولاذي الكلية ( بما فيها صفائح التغطية إن وجدت )

$F_y$  = إجهاد الخضوع لفولاذ مقطع الجائز الفولاذي

$f_c'$  = مقاومة البيتون الاسطوانية على الضغط بعد 28 يوماً

$A_c$  = مساحة البيتون الفعال للبلاطة (في حالة المقطع المستطيل:  $t_c b_c$ )



$b_e$  = العرض الفعال للبلاطة المضغوطة و  $t_c$  = سماكة بلاطة البيتون

$S_s$  = معامل مقطع الجائز الفولاذي منسوباً إلى أسفل الجناح السفلي

$S_{tr}$  = معامل المقطع المركب المتوافر (المفروش) منسوباً إلى أسفل الجناح السفلي للجائز الفولاذي

وهكذا فإنه عند الإنشاء من دون تدعيم مؤقت أو عند استعمال وصلات قصية أقل من المطلوب ( Partial Composite Action ) للفعل المركب التام ولأجل غايات تصميمية أخرى كما تم ذكره سابقاً يمكن استعمال معامل المقطع الفعال من العلاقة الواردة سابقاً (AISC 1.11-1) أو (5-5). وهكذا فإنه يمكن من تطبيق العلاقة (5-5) معرفة فيما إذا كان هناك فعل مركب جزئي أم لا . حيث تحسب  $V_h'$  من العلاقة (5-5) وتقارن مع  $V_h$  فإذا كانت:  $V_h / 4 \leq V_h' < V_h$  فإن هناك فعلاً مركباً جزئياً. وبعد إيجاد  $V_h'$  يمكن حساب عدد الوصلات المفروشة بين نقطة عزم الانعطاف الأعظم وأقرب نقطة معدومة العزم لأجل الفعل المركب الجزئي  $N_1$  من العلاقة التالية :

$$N_1 = V_h' / q_{stu}$$

حيث:  $q_{st}$  = استطاعة الوصلة القصية المسموحة

يمكن أيضاً وفي حالة الفعل المركب الجزئي استخدام عزم العطالة الفعال من أجل حساب السهم استناداً إلى العلاقة التالية :

$$I_{eff} = I_s + \sqrt{\frac{V_h'}{V_h}} (I_{tr} - I_s) \quad (5-7)$$

حيث :

$I_s$  = عزم عطالة الجائز الفولاذي ،  $I_{tr}$  = عزم عطالة المقطع المركب .

وإذا تم في أثناء التصميم اختيار مقطع مركب معامل مقطعه  $S_{tr}$  أكثر من



المطلوب ( حتى ولو بمقدار صغير ) فإنه يمكن تخفيض عدد الوصلات القصية المطلوب استناداً إلى علاقة الفعل المركب الجزئي (5 - 5) . لقد ذكرت المواصفات AISC إنه إذا كانت  $S_{rr}$  أكثر من المطلوب بمقدار يتراوح بين 3 to 10 % فإن عدد الوصلات القصية سوف ينخفض بمقدار يتراوح بين 10 to 30 % .

وإذا تم استعمال وصلات قصية أقل من المطلوب لأجل الفعل المركب التام فإنه سوف يكون هناك زيادة قليلة في السهم الناتج عن الحمولة الحية ، يعزى إلى قلة عزم العطالة الفعّال للمقطع . ففي حالة الإنشاء من دون استعمال الدعائم فإن علاقات السهم في حالة الحمولات الموزعة بانتظام:  $\Delta_{total} = \Delta_{DL} + \Delta_{LL}$

حيث:

السهم قبل تصلب البلاطة (المقطع غير مركب)	السهم بعد تصلب البلاطة (المقطع مركب)
$\Delta_{DL} = \frac{5w_D L^4}{384.E_S.I_S}$	$\Delta_{LL} = \frac{5w_L.L^4}{384.E_S.I_{rr}}$

أما في حالة الإنشاء بوجود دعائم فإن المقطع يعمل بشكل " مركب " ومن ثم يتم حساب السهم على أساس أن مجموع كل من الحمولة الميتة والحمولة الحية مطبق على المقطع المركب .

## 5-5 حالة وجود قوة مركزة في منطقة العزم الموجب

إذا وجدت أية قوة مركزة في منطقة العزم الموجب كما هو مبين في الشكل (5-8) فإنه يجب أن لا يقل عدد الوصلات القصية المطلوبة بين أية قوة مركزة وأقرب نقطة معدومة العزم عن  $N_2$  أو :

$$\frac{N_2}{N} = \frac{S_i - S_s}{S_{\max} - S_s} = \frac{\frac{S_i}{S_{\max}} - \frac{S_s}{S_{\max}}}{\frac{S_{\max}}{S_s} - 1} - 1 \quad (5-8)$$

حيث :



$S_i$  = معامل المقطع المركب عند موقع القوة المركزة حيث يساوي عزم الانعطاف عند هذه النقطة  $M_i$

$S_{max}$  = معامل المقطع المركب المطلوب عند موقع عزم الانعطاف الأعظم الموجب  $M_{max}$

$N$  = عدد الوصلات القصية المطلوبة بين نقطة العزم الأعظم  $M_{max}$  ونقطة العزم صفر والمحسوبة استناداً إلى أي من العلاقتين التاليتين (أيهما قابلة للتطبيق) :

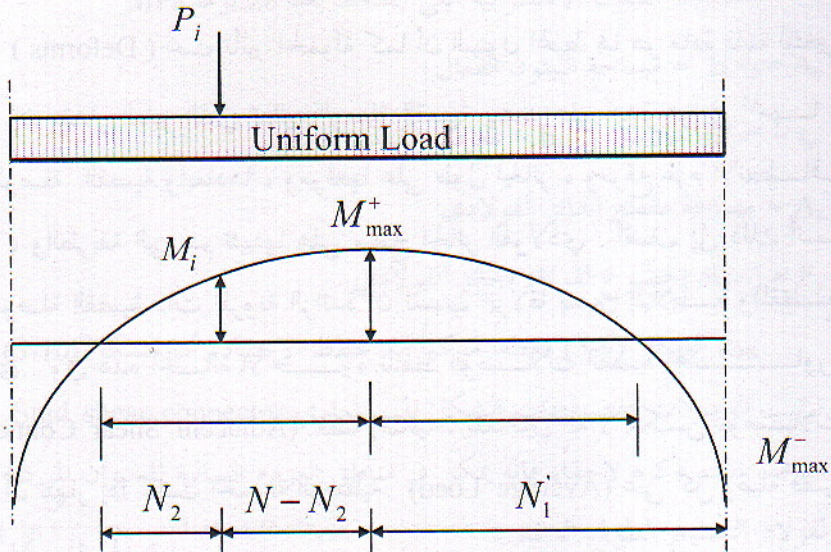
$$N_1 = V_h' / q_{stud} \quad \text{or} \quad N = V_h / q_{stud}$$

( فعل مركب جزئي ) ( فعل مركب تام )

$N_2$  = عدد الوصلات القصية المطلوبة بين نقطة العزم  $M_i$  ونقطة العزم صفر المجاورة كما هو مبين في الشكل

$M_i$  = عزم الانعطاف عند موقع القوة المركزة  $P_i$

$M_{max}$  = عزم الانعطاف الأعظم في المجاز



Shear connector distribution diagram

الشكل (5-8) مخطط توزيع الوصلات القصية في حالة وجود قوة مركزة



$$\frac{S_i}{S_{\max}} = \frac{M_i}{M_{\max}} \text{ and } \beta = \frac{S_{\max}}{S_s} : \text{ يمكن كتابة ما يلي :}$$

وبعد التعويض في العلاقة (5-8) نجد :

$$N_2 = N_1 \frac{\left\{ \beta \frac{M_i}{M_{\max}} - 1 \right\}}{\beta - 1} \quad (5-9)$$

وفي الحالة العامة يمكن كتابة العلاقة (5-9) بالشكل التالي :

$$N_2 = N_1 \frac{\left\{ \frac{S_{tr}}{S_s} \frac{M_i}{M_{\max}} \right\} - 1}{\frac{S_{tr}}{S_s} - 1} \quad (5-10)$$

## 5-6 تصميم الوصلات القصية Shear Connector Design

### 1 - المواصفات AISC ( AISC , Section 1.11 ) :

إن تحديد استطاعة الوصلات القصية تحليلياً هو أمر معقد لأن الوصلة القصية تشوه ( Deforms ) تحت تأثير الحمولة كما أن البيتون المحيط بها هو مادة قابلة للتغير أيضاً . إن مقدار التغير الذي تعانيه الوصلة القصية يعتمد على عدة عوامل أهمها : شكل الوصلة القصية وأبعادها ، وموقعها على طول الجائز ، وموقع عزم الانعطاف الأعظم ، والطريقة التي يتم تثبيتها على سطح الجائز الفولاذي . أضف إلى ذلك أنه يمكن للوصلة القصية ذات المرونة الزائدة أن تسبب انزلاقاً بين البلاطة والمقطع الفولاذي . وفي هذه الحالة الأخيرة تلتقط الوصلات القصية المجاورة ( Adjacent Shear Connectors ) قصاً إضافياً . لقد تبين أنه لا يمكن للوصلات القصية أن تنهار إذا كانت الحمولة الوسطية ( Average Load ) على كل وصلة قصية أقل من الحمولة الحدية .

وتعرف الكودات الأمريكية الحمولة الحدية: على أنها الحمولة التي تسبب انزلاقاً



قدره 0.076 mm بين البلاطة والجائز الفولاذي .

إن مقدار الانزلاق هو تابع أيضاً للمقاومة الاسطوانية للبيتون الذي يحيط بالوصلة القصية على الضغط ، أما قوة القص الأفقية التي يتوجب على الوصلات القصية مقاومتها بين نقطة العزم الموجب الأعظم ونقاط العزم صفر المجاورة فهي القيمة الأصغر بين العلاقتين التاليتين :

$$V_h = \frac{0.85 f_c' b_e t_c}{2} \quad \text{or} \quad V_h = \frac{A_s F_y}{2} \quad (5-11)$$

حيث : يشير العامل (2) في المخرج إلى تخفيض مقاومة (قوة) القص الحدية (Ultimate Shear) إلى قيمة التشغيل (Working Value) أي الانتقال من الطريقة الحدية إلى المرنة .

$V_h$  = القص الأفقي الذي يجب مقاومته بين نقطة العزم الموجب الأعظم ونقطة العزم صفر المجاورة ، وتم شرحه سابقاً في العلاقة (5-6)

$f_c'$  = مقاومة البيتون الاسطوانية على الضغط بعد 28 يوماً MPa

$b_e t_c = A_c$  = مساحة البيتون الفعال

$t_c$  = سماكة البلاطة و  $b_e$  = العرض الفعال

$A_s$  = مساحة مقطع الجائز الفولاذي

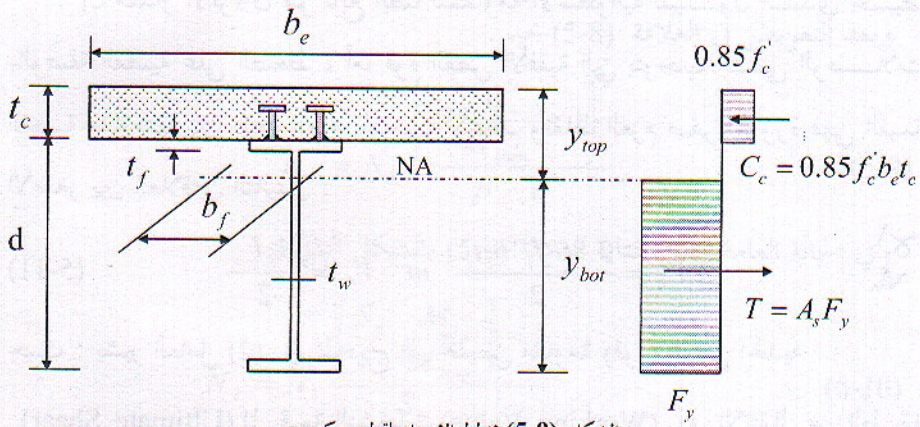
$F_y$  = إجهاد الخضوع لفولاذ الجائز الفولاذي

يبين الشكل (5-9) مقطعاً مركباً مع مخطط الإجهاد، أما الشكل (5-10) فيبين

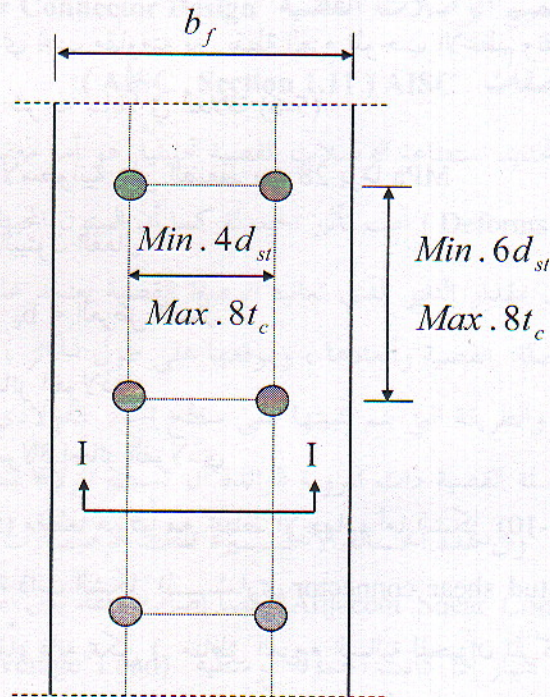
ترتيب الوصلات القصية ذات الشكل المسماري Stud shear connector. وكما سوف سيتم ذكره لاحقاً، فإنه يمكن في مناطق العزوم السالبة للجزان المركبة المستمرة لفولاذ التسليح الطولي الواقع ضمن المنطقة الممتلئة بالبيتون أن تكون الجائز الفولاذي في مقاومة إجهاد الشد الناتج عن هذا العزم السالب في حالة كون الوصلات القصية



مرکبة على الجناح العلوي المشدود.

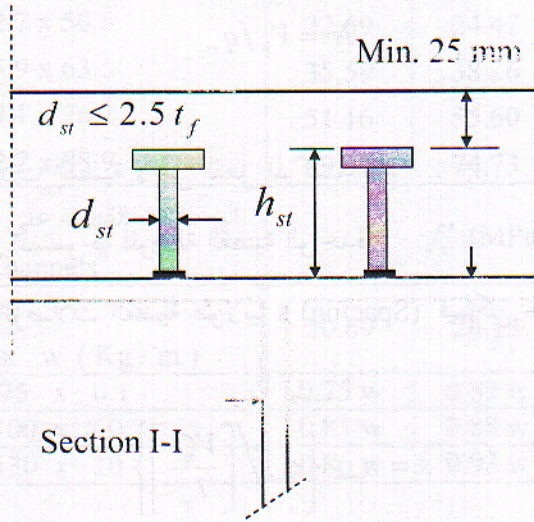


الشكل (5-9) مخطط الإجهاد لقطع مركب



(a) مسقط السطح العلوي للجوائز الفولاذي





(b) المقطع I-I

الشكل (5-10) ترتيب الوصلات القصية ذات الشكل المساري

إن قوة القص الأفقية الكلية التي يجب مقاومتها بالوصلات القصية الكائنة بين نقطة الاستناد الداخلي للجوائز (Interior Support) وكل نقطة انعدام عزم مجاورة (Each adjacent inflection point) في المنطقة السالبة هي :

$$V_h = \frac{A_{sr} f_{yr}}{2} \quad (5-12)$$

حيث :

$A_{sr}$  = المساحة الكلية لفولاذ التسليح الطولي الكائن ضمن العرض الفعال للبلاطة عند المسند الداخلي

$P_{yr}$  = إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح الطولي المذكور

ومن أجل ضمان أكبر فعل مركب بين البلاطة والجوائز الفولاذي ، يجب أن لا يقل عدد الوصلات القصية اللازمة لمقاومة القص الأفقي في المعادلة (5-11) على كل طرف من نقطة العزم الأعظم عن :



$$N = V_h / q_{st}$$

حيث :

$N$  = عدد الوصلات القصية لأجل الفعل المركب التام

$q_{st}$  = قوة القص المسموحة للوصلة القصية الواحدة

أما تباعد الوصلات القصية طولانياً  $s$  (Spacing) فيمكن حسابه من العلاقة

التالية :

$$s = n_{row} \left\{ q_{st} / \left[ \frac{VQ}{I_{tr}} \right] \right\}$$

حيث :

$n_{row}$  = عدد صفوف الوصلات القصية طولانياً

ويعطي الجدول (5-1) قوة القص المسموحة للوصلة القصية الواحدة لأجل البلاطات المصنوعة وفقاً للمواصفات (ASTM C33 Aggregates) أما من أجل البلاطات المصنوعة وفقاً للمواصفات (ASTM C330 Aggregates) أو عند استعمال البيتون الخفيف (Light weight aggregate Concrete) (يعد البيتون خفيفاً إذا كانت كثافة البيتون أقل من  $18 \text{ KN/m}^3$ ) فيجب ضرب القيم المذكورة في الجدول (5-1) أي قيم  $q$ 's بالثوابت المذكورة في الجدول (5-2).

Table (5-1) Shear stud capacity  $q_{st}$  (KN) , AISC

شكل الوصلات القصية	$f'_c$ (MPa)		
الوصلات القصية القائمة (المسمارية) أو المعقوفة Hooked or Headed Studs			
الطول القطر Dia. (mm) x Length (mm)	20.69	24.13	$\geq 27.58$



12.7 x 50.8	22.69	24.47	26.25
15.9 x 63.5	35.59	38.26	40.93
19.1 x 76.2	51.16	55.60	59.16
22.2 x 88.9	69.39	74.73	80.07
الوصلات القصية على شكل قنوات Channels <sup>b</sup>	$f'_c$ (MPa)		
الارتفاع      الوزن d (mm) x $w_t$ (Kg / m)	20.69	24.13	$\geq 27.58$
C 75 x 6.1	0.75 w	0.82 w	0.88 w
C 100 x 8.0	0.81 w	0.88 w	0.93 w
C 130 x 10	0.86 w	0.93 w	0.98 w

Where:

(a) Applicable only to concrete made with : ASTM C33 Aggregates

( ASTM C33 Aggregates: تستعمل لأجل البيتون المصنوع من )

(b) d = Channel Depth ( mm ) : ارتفاع مقطع القناة

$w_t$  = Channel Wight (Kg/m) : وزن القناة

w = Channel Length (mm) : طول القناة

Table (5-2) Coefficients for use with concrete made with C330 aggregates

مقاومة البيتون على الضغط $f'_c$ MPa	كثافة البيتون ( $\text{KN} / \text{m}^3$ )						
	14.14	14.92	15.71	16.49	17.28	18.07	18.85
$f'_c \leq 27.58$	0.73	0.76	0.78	0.81	0.83	0.86	0.88
$f'_c \geq 34.48$	0.82	0.85	0.87	0.91	0.93	0.96	0.99

وذكرت المواصفات AISC 1.11.4 أنه يمكن استعمال العلاقة التالية لإيجاد

مقاومة القص الحدية للوصلة القصية ذات الشكل المسماري

(Stud Shear Connector Strength)

Studies have defined stud shear connection strength,  $q_{st}$ , in terms of



normal weight and light weight aggregate concretes , as a function of both concrete modulus of elasticity  $E_c$  (MPa) and concrete strength  $f'_c$  (MPa).

$$q_{st} = 0.5 A_{st} \sqrt{f'_c E_c} = 0.4 d_{st}^2 \sqrt{f'_c E_c} \leq A_{st} F_{us} \quad (5-13)$$

حيث :

$q_{st}$  = الاستطاعة الحدية للوصلة القصية MN

$A_{st}$  = مساحة مقطع الوصلة القصية  $m^2$

$d_{st}$  = قطر الوصلة القصية m

$F_{us}$  = إجهاد الشد الأقصى لفولاذ الوصلة القصية MPa

ويفترض عند حساب عدد الوصلات القصية  $N$  أن يكون توزيعها منتظماً وعلى شكل أزواج ( Uniform spacing in pairs usually ) ابتداءً من نقطة العزم صفر إلى نقطة العزم الموجب الأعظم المجاورة في منطقة العزم الموجب . وتعطي العلاقة التالية قوة القص المسموحة للوصلة القصية في طريقة التصميم المرنة :

$$q_{st} = (1/3) A_{st} \sqrt{f'_c E_c} \leq (2/3) A_{st} F_{us} \quad (5-14)$$

ويجب مراعاة المسافات التالية في أثناء تصميم الوصلات القصية ( الشكل السابق

5-10 ) وفقاً لقواعد النظام الأمريكي AISC :

AISC 1.11.4 :

- Shear connectors shall have at least 2.5 cm of lateral concrete cover , except for connectors installed in the ribs of formed steel decks .
- Unless located directly over the web , the diameter of studs shall not be greater than  $2.5 t_f$  , Where  $t_f$  = thickness of the flange to which they are welded .
- The minimum center - to - center spacing of stud connectors shall be 6 diameters along the longitudinal axis of the supporting composite beam and 4 diameters transverse to the longitudinal axis of the supporting composite beam .
- The maximum center-to- center spacing of stud connectors shall not exceed 8 times the total slab thickness .



وأخيراً يعطى الجدول (5-3) والشكل (5-11) أهم الوصلات مع استطاعتها

# Type of Shear Connectors

Table (5-3) Shear connectors, British Code

Type of Connector		Connector Materials	Weld.	Design loads for Strength (MPa)		
				21	28	42
Horizontal Bars						
mm	height mm	stress.	See Fig. (a)			
25	100	385 MPa		119	131	155
22	100	Min. ult. tensile stress : 494 MPa		98	108	128
19	100			78	86	102
19	75			67	74	88
16	75			57	63	75
13	62			36	40	48
Bars with hops Fig. (b)		Grade 43	See Fig. (b)	Load per stud, $P_c$ (KN)		
50 x 38 x 200 mm bar				400	530	800
Channels, Fig. (c)		Grade 43	See Fig. (c)	Load per stud, $P_c$ (KN)		
127 x 64 x 14.9 kg x 150 mm				228	252	300
102 x 51 x 10.4 kg x 150 mm				210	234	282
76 x 38 x 6.7 kg x 150 mm				198	222	270
Tees with hoops, Fig. (d)		Grade 43	See Fig. (d)	Load per stud, $P_c$ (KN)		
102 x 76 x 12.7 mm T				202	222	262
50 mm high with 13 mm dia. bar loop						
Helices Fig. (e)		Grade 43	See Fig. (e)	Load per stud, $P_c$ (KN)		
Bar	Pitch					



diam. mm	circle diam. mm					
19	125			162	178	208
16	125			124	136	160
13	100			86	95	112
10	75			50	55	64
Note:						
1. Connector values for bars and channels of less length than those quoted above are proportional to the length						
2. The values are not applicable where there is a concrete haunch between beam and slab with a slope steeper than 1 vertical and 3 horizontal						

### المثال (5-1) :

المطلوب توزيع الوصلات القصية للجائز المركب المبين في الشكل (5-12) .

المعطيات :

Slab:  $b_e = 175 \text{ cm}$  ,  $t_c = 12 \text{ cm}$  ,  $f'_c = 20 \text{ MPa}$

$n = 9$  ,  $q_{st} = 35.23 \text{ KN}$

Steel Beam: W 460 x 59.5 ,  $F_y = 250 \text{ MPa}$

$A_s = 7.61(10)^{-3} \text{ m}^2$  ,  $S_s = 1.12(10)^{-3} \text{ m}^3$

$S_{tr} = 1.63(10)^{-3} \text{ m}^3$  (To the tension fiber of steel)

الحل :

حساب عدد الوصلات القصية المطلوب بين نقطة العزم الأعظم ونقطة العزم

صفر وفقاً للعلاقات التالية :

$$V_h = \frac{1}{2} 0.85 f'_c b_e t_c$$

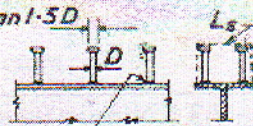
$$V_h = 0.5(0.85)(20)(175)(12)(10)^{-4}((10)^3) = 1750 \text{ KN}$$

$$V_h = \frac{1}{2} A_s F_y$$



# DESIGN PROCEDURE

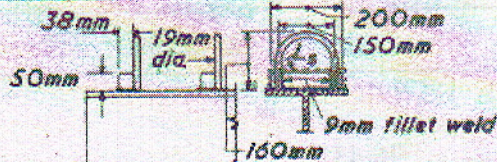
Not less than  $1.5D$



Automatic stud weld

a. Stud connector

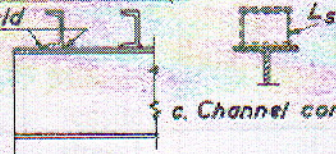
Direction of thrust on connector



b. Bar connector

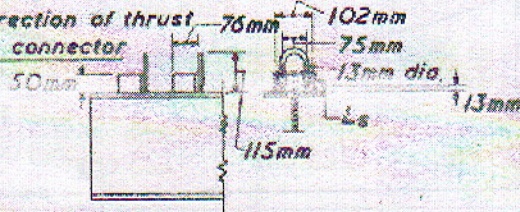
Direction of thrust on connector

5mm fillet weld  
full width



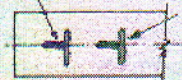
c. Channel connector

Direction of thrust  
on connector

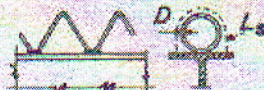


6mm fillet weld

Hoops omitted  
for clarity

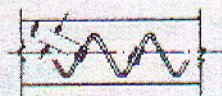


d. Tee connector



Length of weld  $l = 2D + 13\text{mm}$

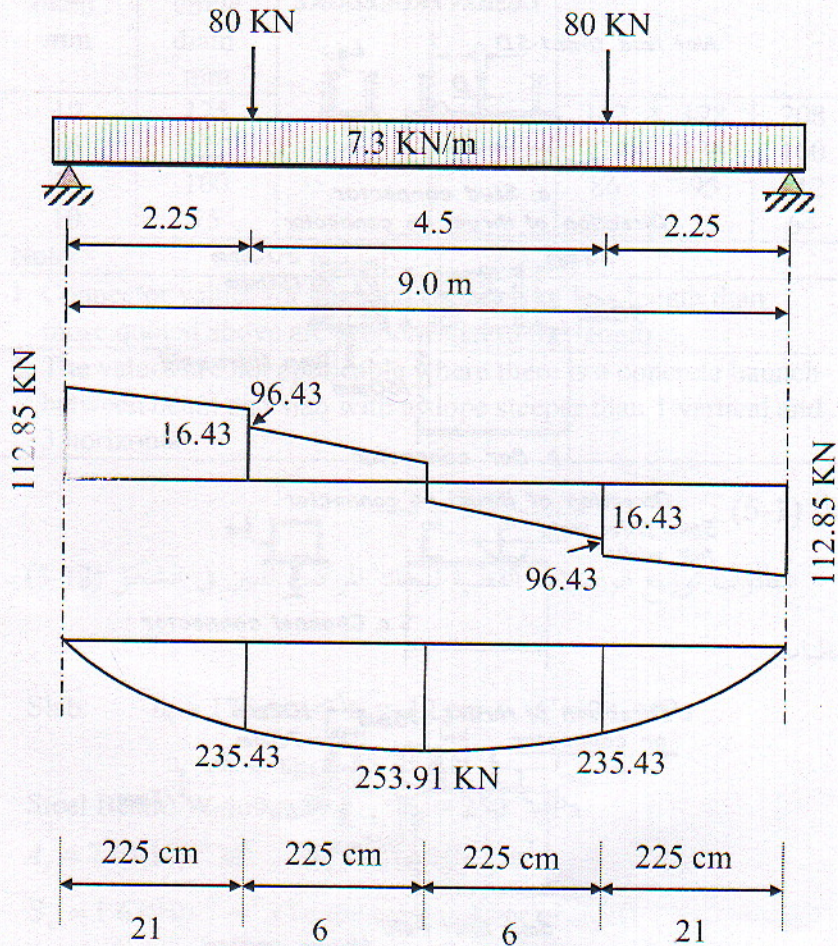
Size of weld  $= \frac{D}{2} + 2\text{mm}$



e. Helical connector

الشكل (5-11) انواع الوصلات القصية من الكود البريطاني





الشكل (5-12) المثال (5-1)

$$V_h = \frac{1}{2} (7.61)(10)^{-3} (250)(10)^3 = 951.25 \text{ kN}$$

$$N = V_h / q_{st} = 951.25 / 35.23 = 27 \text{ Connectors}$$

Use : N = 27 : 16 mm Diameter x 64 mm Height ( Table 4-1)

أما عدد الوصلات القصية المطلوب بين نقطة القوة المركزة ونقطة عزم

الانعطاف صفر فيساوي :

$$N_2 = N \frac{[\beta(M / M_{\max}) - 1]}{\beta - 1}, \quad \beta = S_w / S_s$$



$$\beta = 1.63 / 1.1 = 1.48$$

$$M_i / M_{max} = 235.43 / 253.91 = 0.9272$$

$$\text{Studs } N_2 = \dots$$

وهكذا فإن عدد العزم بين نقطة القوة المركزة ونهاية الجائز (أي نقطة العزم صفر) يساوي 1 . صلة قصية .

جاء الإشاره إلى انه في حالة كون الحد  $\beta (M / M_{max}) < 1$  ، فإنه لا يمكن تطبيق العلاقة (5-9) أعلاه .

## 2 - المواصفات AASHTO

### (Ultimate Strength Design, AASHTO 1.7.48)

يجب التحقق من أن الوصلات القصية المتوافرة كافية لمقاومة كل من التعب (كما سنرى ذلك لاحقاً) وقوة القص الحدية . وبناءً على ذلك يجب أن لا يقل عدد الوصلات القصية عما يلي :

$$N = \frac{V_h}{\Phi q_{ult}} \quad (5-15)$$

حيث :

$N$  = عدد الوصلات القصية بين نقاط العزم الموجب الأعظم ونقاط الاستناد الطرفية

المجاورة ( للجزان البسيطة فقط ) والذي يمكن أن يكون توزيعه منتظماً

$q_{ult}$  = استطاعة الوصلة القصية الحدي

$\Phi$  = عامل تخفيض ( 0.85 في الطريقة الحدية و 1.0 في الطريقة المرنة )

$V_h$  = قوة القص الأفقية في مستوى التصاق البلاطة مع الجائز الفولاذي



وكما تم ذكره سابقاً وفي منطقة العزم الأعظم الموجبة يجب استعمال القيمة الأصغر من العلاقتين التاليتين أدناه في العلاقة (5-6) أعلاه .

$$V_h = 0.85 f'_c b_e t_c \quad \text{or} \quad V_h = A_s F_y \quad (5-6)$$

ويمكن من جهة أخرى إعطاء عدد الوصلات القصية المطلوبة بين نقاط عزوم الانعطاف الموجبة الاعظمية ونقاط عزوم الانعطاف السالبة الاعظمية المجاورة من العلاقة التالية :

$$N_1 = \frac{V_h + V_h^-}{\Phi q_{ult}} \quad (5-16)$$

حيث :

$V_h^-$  = قوة القص في البلاطة عند نقاط عزوم الانعطاف السالبة العظمى وتساوي :

$$V_h^- = A_{sr} f_{yr}$$

$A_{sr}$  = مساحة قضبان التسليح الكلية الطولية عند المساند الداخلية ( أي مناطق

العزوم السالبة الأعظمية ) والكائنة ضمن العرض الفعال للبلاطة

$f_{yr}$  = إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح الطولي

جدير ذكره أن مقاومة الشد لبلاطة البيتون المسلحة أقل كثيراً من مقاومة الجائز

الفولاذي في مناطق العزوم السالبة لذلك لا بد من استعمال العلاقة :  $V_h^- = A_{sr} f_{yr}$  في هذه المناطق .

يجب أن لا تقل مساحة فولاذ التسليح الطولي الكائن في مناطق العزوم السالبة

للجيزان المستمرة عن القيمة :  $A_{sr} \geq 0.01 A_g$  .

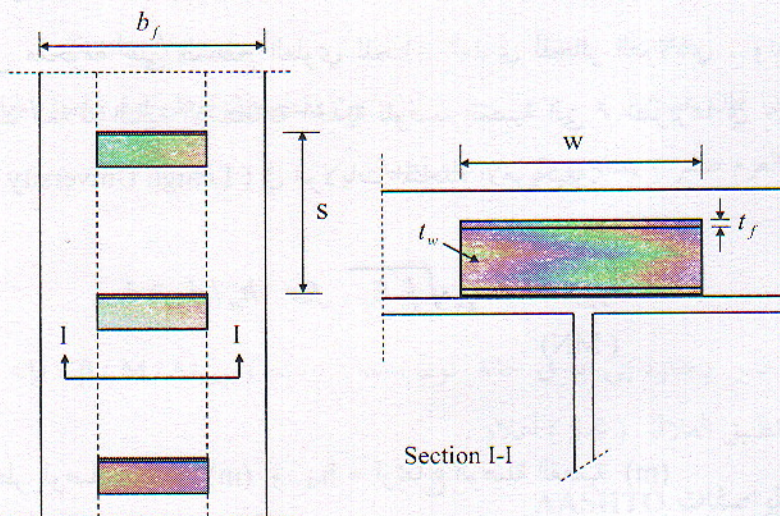
حيث :

$A_g$  = مساحة كامل مقطع البلاطة البيتونية العرضي بين الجيزان الطولية

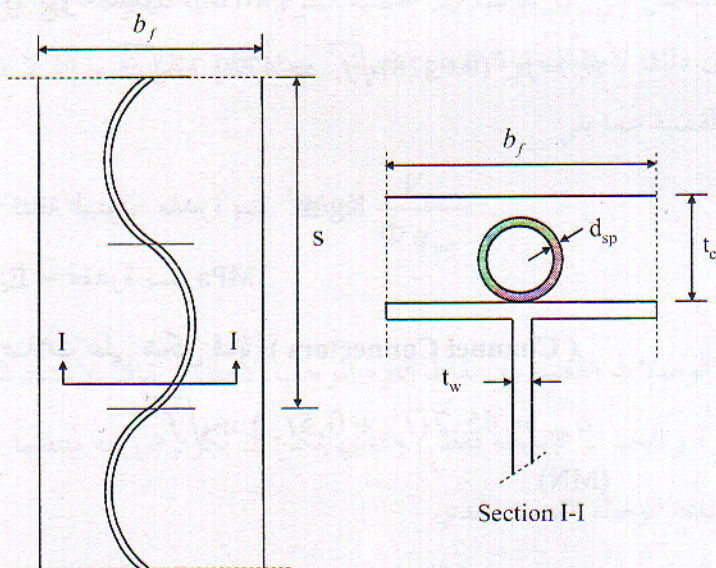
ويتم وضع  $A_{sr} = 2/3 A_{st}$  ضمن العرض الفعال والباقي خارج العرض الفعال .



يمكن إعطاء العلاقات التالية لحساب الاستطاعة الحدية للوصلة القصية لبعض أشكال الوصلات القصية (الشكل 5-13):



(a) Channels



(b) Spirals

الشكل (5-13) الوصلات القصية على شكل قناة والحلزونية



## 2.1- الوصلات القصية القائمة ذات الرؤوس (المسمارية الشكل) أو المعقوفة

### الشكل The headed or hooked stud connectors

وهي ملحومة على السطح العلوي للجناح العلوي للجائز الفولاذي . وتعطى المواصفات العلاقة التالية الاستطاعة الحدية للوصلة القصية التي تم تطويرها في جامعة ليهاي ( Lehigh University ) في الولايات المتحدة الامريكية :

(5-17)

$$q_{ult} = 0.4 d_{st}^2 \sqrt{f_c' E_c} \text{ for } h_{st} / d_{st} \geq 4$$

( MN )

حيث :

$d_{st}$  = قطر الوصلة القصية (m) و  $h_{st}$  = ارتفاع الوصلة القصية (m)

$f_c'$  = مقاومة الببتون الاسطوانية على الضغط بعد 28 يوماً ( MPa )

$E_c$  = عامل المرونة للببتون ( MPa )

$$E_c = \gamma_c^{1.5} (0.0428) \sqrt{f_c'} \approx 4729.77 \sqrt{f_c'} \quad (5-15)$$

حيث :

$\gamma_c$  = كثافة الببتون مقدرة بـ  $\text{Kg/m}^3$

$f_c$  و  $E_c$  = مقدرة بـ MPa

## 2.2- الوصلات على شكل قناة ( Channel Connectors )

$$q_{ult} = 45.7 (t_f + 0.5 t_w) w \sqrt{f_c'} \quad (5-16)$$

(MN)

حيث :

$t_f$  = السماكة الوسطية لجناح القناة (m)

$t_w$  = سماكة جسد القناة ( m )



w = طول القناة في الاتجاه العمودي على جناح الجائز الفولاذي (m)

### 2.3- الوصلات القصية الحلزونية (Spiral Shear Connectors)

$$q_{ult} = 2.334 d_{sp} \sqrt{f'_c} \quad (5-17)$$

(MN)

96-97 207

حيث :

$$d_{sp} = \text{قطر قضيب} \quad (mm)$$

$$f'_c = \text{مقدرة بـ MPa}$$

يمكن تقسيم القيم الحدية أعلاه ( أو  $q_{ult}$ 's ) على ثوابت أمان من أجل الحصول على القيم المسموحة ( Allowable Values ) في حالة استعمال طريقة إجهاد التشغيل ( Working Stress Method ) .

إن كل ما تم ذكره سابقاً يخص القص الأفقي ( الانزلاق ) بين البلاطة البيتونية والسطح العلوي للجوائز الفولاذية . أما القص الشاقولي ( Vertical Shear ) فيتم تحديده استناداً إلى فرض أن جسد الجائز الفولاذي هو الذي يحمل كل القص الخارجي ( External Shear ) بإهمال تأثير كل من أجنحة الجائز الفولاذي والبلاطة البيتونية . وفي هذه الحالة يكون توزيع إجهاد القص منتظماً على كامل مساحة مقطع الجسد .  
The shear may be assumed to be uniformly distributed throughout the gross area of the web:

$$f_v = \frac{V}{dt_w} \leq F_v$$

حيث :

$$d = \text{ارتفاع مقطع الجائز الفولاذي}$$

$$t_w = \text{سماعة الجسد Web thickness}$$

$$F_v = 0.40 F_y , \text{ AISC} \quad : \text{إجهاد القص المسموح للفولاذ}$$

$$F_v = 0.33 F_y , \text{ AASHTO}$$



## 5-7 المواصفات التصميمية للمقطع المركب AISC-1.11.2

### Designing Properties of Composite Beam

يجب على المقطع المركب مقاومة كل الحمولات المطبقة عليه سواء أكان الإنشاء (التنفيذ) سيتم باستخدام الدعامات المؤقتة (With Temporary Shoring) أو من دون استخدام الدعامات المؤقتة (Without Temporary Shoring) وفقاً لما يلي :

$f_b = \frac{M_D}{S_s} + \frac{M_L}{S_{tr}} \leq K_1 F_y$	الإنشاء دون دعائم	(5-18)
$f_b = \frac{M_D + M_L}{S_{tr}} \leq K_2 F_y$	الإنشاء باستعمال الدعائم	

حيث :

$S_s$  = معامل مقطع الجائز الفولاذي نسبة إلى أسفل الجناح المشدود .

$S_{tr}$  = معامل المقطع المركب نسبة إلى أسفل جناح الجائز الفولاذي المشدود .

$M_L$  = عزم الانعطاف الناتج عن تطبيق الحمولات الحية بعد تصلب البيتون ( أي بعد وصول البيتون إلى 75 % من المقاومة المطلوبة ) .

$M_D$  = عزم الانعطاف الناتج عن الحمولة الميتة .

$K_1, K_2$  = ثوابت من أجل الحصول على الاجتهادات المسموحة عند أسفل ليف من جناح الجائز الفولاذي المشدود في حالتي وجود التدعيم المؤقت أو عدم وجوده .

إذا استعمل ثابت آخر  $K = \frac{S_{tr}}{S_s}$  وقسمت المعادلة الأولى على الثانية:

$$\frac{K_1}{K_2} \geq \frac{\frac{M_D}{S_s} + \frac{M_L}{KS_s}}{\frac{M_D + M_L}{KS_s}} = \frac{KM_D + M_L}{M_D + M_L}$$

$$\frac{K_1}{K_2} (M_D + M_L) - M_L \geq KM_D \quad (5-19)$$



بتقسيم طرفي العلاقة أعلاه على  $M_D$  والإصلاح :

$$\frac{K_1}{K_2} + \frac{M_L}{M_D} \left( \frac{K_1}{K_2} - 1 \right) \geq K = \frac{S_r}{S_s}$$

$$S_r \leq \left\{ \frac{K_1}{K_2} + \frac{M_L}{M_D} \left( \frac{K_1}{K_2} - 1 \right) \right\} S_s \quad (5-20)$$

لقد أعطى الكود AISC القيمة التالية  $\frac{K_1}{K_2} = 1.35$  ، من أجل السماح للمقطع المحكم

( Compact Section ) (  $0.66 F_y$  ) أن يصل إلى القيمة التالية (  $0.89 F_y$  ) أو

$$\frac{0.89 F_y}{0.66 F_y} = 1.35 \text{ عندئذ تأخذ العلاقة ( 5-20 ) الشكل التالي :}$$

$$S_r \leq \left[ 1.35 + 0.35 \frac{M_L}{M_D} \right] S_s \quad (5-21)$$

وكما يظهر من العلاقة ( 5-21 ) فإن هذا التحديد ( Limitation ) للإجهاد هو

صالح بغض النظر عن نسبة  $M_L$  إلى  $M_D$  المستعملة في التصميم .

### المثال (5-2) :

يبين الشكل (5-14.a) مسقطاً لسقف مستودع صناعي مع مقطع أحد جيزانه :

المطلوب :

- أوجد مقطع الجوائز الفولاذي اللازم

- أوجد عدد الوصلات القصية والسهم لكل من الفعل المركب التام والفعل

المركب الجزئي

المعطيات : المنشأة غير مزودة بدعائم مؤقتة لأجل الجيزان الفولاذية

$$f_c' = 22 \text{ MPa} , F_y = 250 \text{ MPa} , n \approx 9$$

الحمولة الحية المتوقعة  $10 \text{ KN/m}^2$  . المواصفات المطلوبة : AISC

مواصفات الوصلة القصية :



قطر الوصلة :  $d_{st} = 19 \text{ mm}$  وارتفاعها :  $h_{st} = 75 \text{ mm}$

$$h_{st}/d_{st} = 3.95 \approx 4 \text{ o.k}$$

الحل :

كتابة لسوق / Zuhair - تحليل الحملات .

$$\text{وزن البلاطة : } 0.10 (2.25) (24) = 5.40$$

$$\text{وزن الجائز الفولاذي ( فرضاً ) } 0.70$$

$$W_D = 5.40 + 0.70 = 6.10 \text{ KN/m}$$

$$W_L = 10 (2.25) = 22.5 \text{ KN/m}$$

$$M_D = \frac{6.10(9)^2}{8} = 61.76 \text{ KN.m}$$

$$M_L = \frac{22.5(9)^2}{8} = 227.81 \text{ KN.m}$$

$$M_{\max} = M_D + M_L = 289.57 \text{ KN.m}$$

- اختيار مقطع الجائز الفولاذي في الشكل (5-14.b) ::

$$A_s = \frac{2.2 M_{\max}}{(0.5d + 0.8t_c) F_y} \quad \text{or} \quad S_r = \frac{M_{\max}}{0.66 F_y}$$

$$\text{- Where : } d \approx \frac{L}{30} = \frac{9}{30} = 0.30 \text{ m} \Rightarrow \text{Use : } d = 45 \text{ cm} \quad (\text{فرضاً})$$

$$A_s = \frac{2.2(289.57)(10)^{-3}}{0.5(0.45) + 0.8(0.10)} \frac{1}{250} = 8.35 (10)^{-3} \text{ m}^2$$

Try : W 460 x 68.5

$$(\text{Self weight}) w_t = 0.67 \text{ KN/m}$$

$$A_s = 8.71 (10)^{-3} \text{ m}^2, \quad d = 45.9 \text{ cm}, \quad b_f = 15.4 \text{ cm}$$

$$S_s = 1.29 (10)^{-3} \text{ m}^3, \quad I_x = 296.40 (10)^{-6} \text{ m}^4$$

عرض البلاطة الفعال :

$$L/4 = 900 / 4 = 225 \text{ cm}$$

$$b_e = 225 \text{ cm}$$

$$b_f + 16 t_c = 15.4 + 16(10) = 175.40 \text{ cm} \quad (\text{controls})$$



المواصفات المقطعية :

$$y_{top} = \frac{(175.4/9)(10)(5) + 87.10[(45.9/2) + 10]}{(175.4/9) + 87.10} = 13.63 \text{ cm}$$

أما بقية المواصفات المقطعية فيمكن تلخيصها في الجدول (5-4)

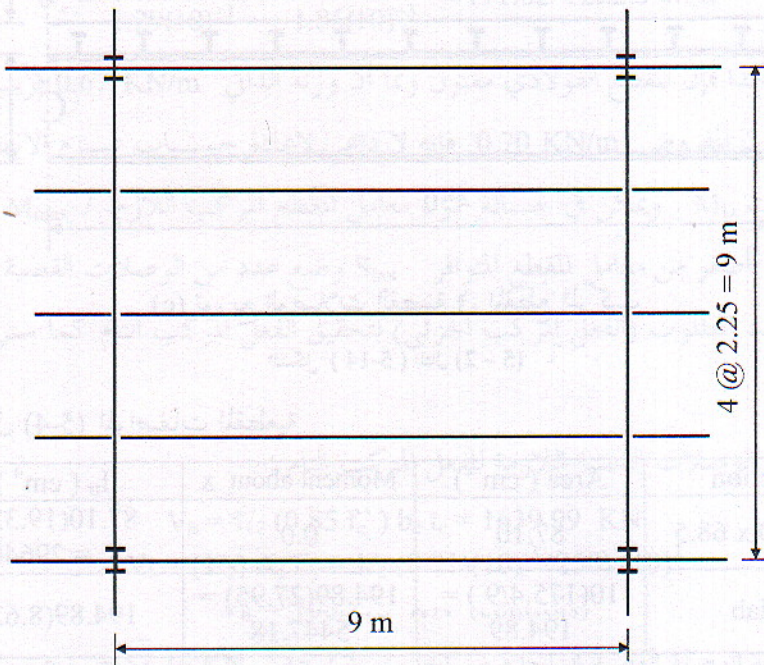
Concrete :

$$\sigma_c' = \frac{M_L}{nS_{top}} = \frac{227.81(10)^{-3}}{9(5.74)(10)^{-3}} = 4.41 < 0.1$$

Steel :

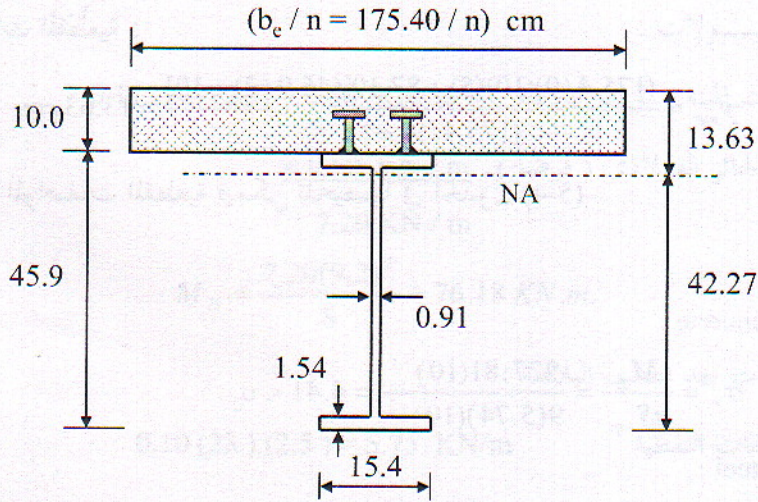
$$S_s = \frac{M_D}{0.60F_y} = \frac{61.76(10)^{-3}}{0.60(250)} = 0.41(10)^{-3} < 1.29(10)^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_{tr} = \frac{M_D + M_L}{0.66F_y} = \frac{289.57(10)^{-3}}{0.66(250)} = 1.75(10)^{-3} < 1.85(10)^{-3} \text{ m}^3$$

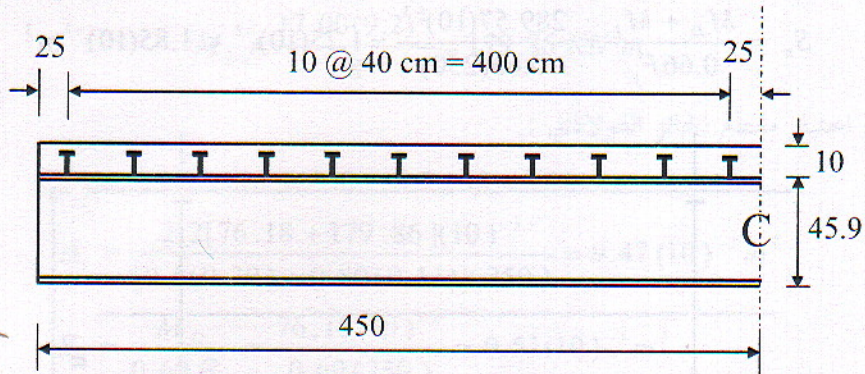


(a) مسقط البناء





(b) المقطع المركب



(c) توزيع الوصلات القصية في المقطع المركب

الشكل (5-14) المثال (5-2)

الجدول (5-4) المواصفات المقطعية

Section	Area ( cm <sup>2</sup> )	Moment about x	I <sub>tr</sub> ( cm <sup>4</sup> )
W 460 x 68.5	87.10	0.0	87.10(19.32) <sup>2</sup> I <sub>o</sub> = 29640
Slab	10(175.4/9) = 194.89	194.89(27.95) = 5447.18	194.89(8.63) <sup>2</sup>



	281.99	5447.18	$I_o \frac{(175.4/9)(10)^3}{12}$
	$e = 5447.18 / 281.99 = 19.32$		78290.03
$S_{bot.} = \frac{I_{tr}}{y_t} = \frac{78290.03}{42.27} = 1852.14 cm^3 \approx 1.85(10)^{-3} m^3$ $S_{top.} = \frac{78290.03}{13.63} = 5743.95 cm^3 \approx 5.74(10)^{-3} m^3$			

- تدقيق علاقة النظام AISC 1.11-2 :

$$S_{tr} = [1.35 + 0.35 (M_L/M_D)] S_s$$

$$S_{tr} = [1.35 + 0.35(227.81 / 61.76)] (1.29)(10)^{-3}$$

$$S_{tr} = 3.41 (10)^{-3} m^3 > 1.85 (10)^{-3}$$

$$\sigma_s = \frac{M_D}{S_s} + \frac{M_L}{S_{tr}} \leq 0.89 F_y$$

$$\sigma_s = \frac{61.76(10)^{-3}}{1.29(10)^{-3}} + \frac{227.81(10)^{-3}}{1.85(10)^{-3}} = 171.02 < 222.5 MPa$$

- وهكذا فإن المقطع الفولاذي مقبول وبما أن وزنه الذاتي 0.67 KN/m قريب من الوزن المفروض 0.70 KN/m فإنه لا داعي لاعادة حساب عزم الانعطاف الميت  $M_D$ . ويمكن في حالة كون معامل المقطع المركب اللازم  $S_{eff} = M_{max} / F_b$  أصغر من معامل المقطع المتوافر  $S_{bot}$  وضع عدد من الوصلات القصية اقل من العدد المطلوب (الفعل المركب الجزئي) لتحقيق الفعل المركب التام كما سنرى فيما يلي :

- عدد الوصلات القصية اللازمة للفعل المركب التام :

$$V_h = 1/2 (0.85 f_c') b_c t_c = 1639.99 \text{ KN}$$

$$V_h = (1/2) A_s F_y = 1/2 (871)(10)^{-3} (250) (10)^3$$

$$V_h = 1066.75 \text{ KN (controls)}$$

استطاعة الوصلة القصية الواحدة من الجدول (5-1) :  $q_{stud} = 51.16 \text{ KN}$



وهكذا فإن عدد الوصلات القصية اللازمة للفعل المركب التام :

$$N = \frac{V_h}{q_{stud}} = \frac{1088.75}{51.16} \approx 22$$

تم توزيع الوصلات القصية كما هو مبين في الشكل ( 5-14c ) .

- عدد الوصلات القصية في حالة الفعل المركب الجزئي :

$$V_h' = V_h \left\{ \frac{S_{eff} - S_s}{S_{tr} - S_s} \right\}^2$$

$$V_h' = 1088.75 \left\{ \frac{1.15 - 1.29}{1.85 - 1.29} \right\}^2 = 734.63 \text{ KN}$$

$$N = \frac{734.63}{51.16} \approx 15, \text{ Use: } N = 16$$

- حساب السهم ( Deflection ) :

$$\text{Dead Load : } \Delta = \frac{5}{384} \frac{w_D L^4}{E_s I_s}$$

$$\Delta_{DL} = \frac{5}{384} \frac{6.10(10)^{-3} (9)^4 (10)^3}{200000 (296.40)(10)^{-6}} = 8.79 \text{ mm}$$

$$\text{Life Load : } \Delta = \frac{5}{384} \frac{w_L L^4}{E_s I_{tr}}$$

$$\Delta_{LL} = \frac{5}{384} \frac{22.5(10)^{-3} (9)^4 (10)^3}{200000 (782.90)(10)^{-6}} = 12.28 \text{ mm}$$

$$\Delta_{LL} = 12.28 \text{ cm} < L/360 = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta = 8.79 + 12.28 = 21.07 \text{ mm}$$

$$< L/240 = 37.5$$

- حساب السهم الناتج عن الفعل المركب الجزئي ( Partial Deflection ) :

$$I_{eff} = I_s + \sqrt{V_h' / V_h} (I_{tr} - I_s)$$

$$I_{eff} = [296.40 + (734.63 / 1088.75)^{1/2} (782.90 - 296.40)] (10)^{-6}$$

$$I_{eff} = 696.03 (10)^{-6} \text{ m}^4$$



$$\Delta_{LL} = \frac{5}{384} \frac{22.5(10)^{-3} (9)^4 (10)^3}{200000 (696.03)(10)^{-6}} = 13.81 \text{ mm}$$

- السهم النهائي الذي سببه له المنشأة :

$$\Delta_{Final} = 8.80 + 13.81 = 22.6$$

المثال (5-3):

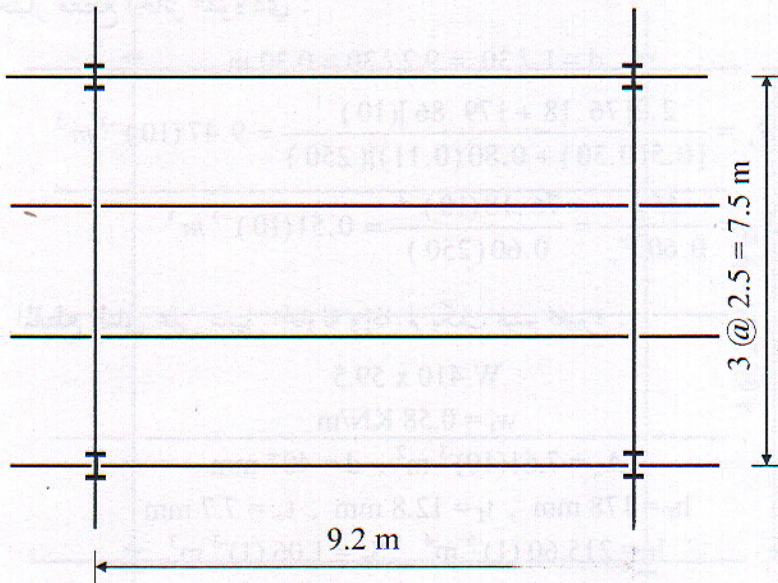
تصميم

بدعائم مؤقتة وفقا للمواصفات الأمريكية AISC .

المعطيات :  $f'_c = 22 \text{ MPa}$  ,  $F_y = 250 \text{ MPa}$  ,  $t_c = 11 \text{ cm}$

الحمولة الحية المتوقعة :  $LL = 4.5 \text{ KN/m}^2$

سماكة طبقات السقف = 10 cm



الشكل ( 5-15 ) المثال (5-3)

الحل :



- الحمولات :

$$\text{الحمولات الميتة : وزن البلاطة } 0.11 (24) (2.5) = 6.60 \text{ KN/m}$$

$$\text{وزن الجائز الفولاذي ( فرضاً ) } = 0.60 \text{ KN/m}$$

$$7.20 \text{ KN/m}$$

$$M_D = \frac{7.20(9.2)^2}{8} = 76.18 \text{ KN.m.}$$

الحمولات بعد تصلب البلاطة :

$$\text{وزن طبقات التغطية } 0.10 (23) (2.5) = 5.75 \text{ KN/m}$$

$$\text{الحمولة الحية } 4.5 (2.5) = 11.25 \text{ KN/m}$$

$$17.00 \text{ KN/m}$$

$$M_L = \frac{17.00(9.2)^2}{8} = 179.86 \text{ KN.m.}$$

- اختيار مقطع الجائز الفولاذي :

$$d = L / 30 = 9.2 / 30 \approx 0.30 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{2.2[76.18 + 179.86](10)^{-3}}{[0.5(0.30) + 0.80(0.11)](250)} = 9.47(10)^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_s = \frac{M_D}{0.60 F_y} = \frac{76.18(10)^{-3}}{0.60(250)} = 0.51(10)^{-3} \text{ m}^3$$

نختار المقطع التالي على سبيل المحاولة وإذا لم يكف فیتم تغييره :

$$W 410 \times 59.5$$

$$w_t = 0.58 \text{ KN/m}$$

$$A_s = 7.61(10)^{-3} \text{ m}^2, d = 407 \text{ mm}$$

$$b_f = 178 \text{ mm}, t_f = 12.8 \text{ mm}, t_w = 7.7 \text{ mm}$$

$$I_x = 215.60 (1)^{-6} \text{ m}^4, S_x = 1.06 (1)^{-3} \text{ m}^3$$

- خواص المقطع المركب :

$$n = E_s / E_c = 200000 / [4729.77\sqrt{22}] \approx 9$$



$$b_e = 920/4 = 230 \text{ cm}$$

$$b_e = \text{Beam spacing} = 250 \text{ cm}$$

$$b_e = 16 t_c + b_f = 16(11) + 17.8 = 193.8 \text{ cm}$$

$$\text{Use : } b_e = 193.8 \text{ cm}$$

Neutral Axis (N.A.) location and sectional properties:

$$y_{bot} = \frac{(193.8/9)(11)[46.2] + 76.1[20.35]}{(193.8/9)(11) + 76.10} = 39.91 \text{ cm}$$

$$y_{top} = 11.79 \text{ cm}$$

$$\text{Check : } 39.91 + 11.79 = 51.70 \text{ cm}$$

$$I_{tr} = \frac{1}{12} (193.8/9)(11)^3 + (193.8/9)(11)[y_{top} - 5.5]^2 +$$

$$21560 + 76.10 [y_{bot} - 20.35]^2 =$$

$$I_{tr} = 62435.20 \text{ cm}^4 = 624.35 (10)^6 \text{ m}^4$$

$$S_{top} = I_{tr} / y_{top} \approx 5.30 (10)^3 \text{ m}^3$$

$$S_{bot} = I_{tr} / y_{bot} \approx 1.56 (10)^3 \text{ m}^3$$

- تدقيق الإجهادات (انظر الشكل 5-16):

Dead Load :

$$\sigma_s = M_D / S_s = 76.18 (10)^{-3} / 1.06 (10)^{-3} = 71.87 \text{ MPa}$$

Life Load :

$$\sigma'_{c1} = (M_L y_{top}) / (n I_{tr}) = 3.77 \text{ MPa} < 0.45 f'_c$$

$$\sigma'_{c2} = [M_L (y_{top} - t_c)] / (n I_{tr}) = 0.25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s1} = M_L (y_{top} - t_c) / I_{tr} = 2.28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s2} = M_L y_{bot} / I_{tr} = 114.97 \text{ MPa}$$

Total Stresses :

$$\sigma_s = \frac{M_D + M_L}{S_{bot}} = \frac{(76.18 + 179.86)(10)^{-3}}{1.56(10)^{-3}} = 164.13 < 0.66 F_y$$

$$\sigma_s = 71.87 + 114.97 = 186.84 < 0.89 F_y = 222.5 \text{ MPa}$$

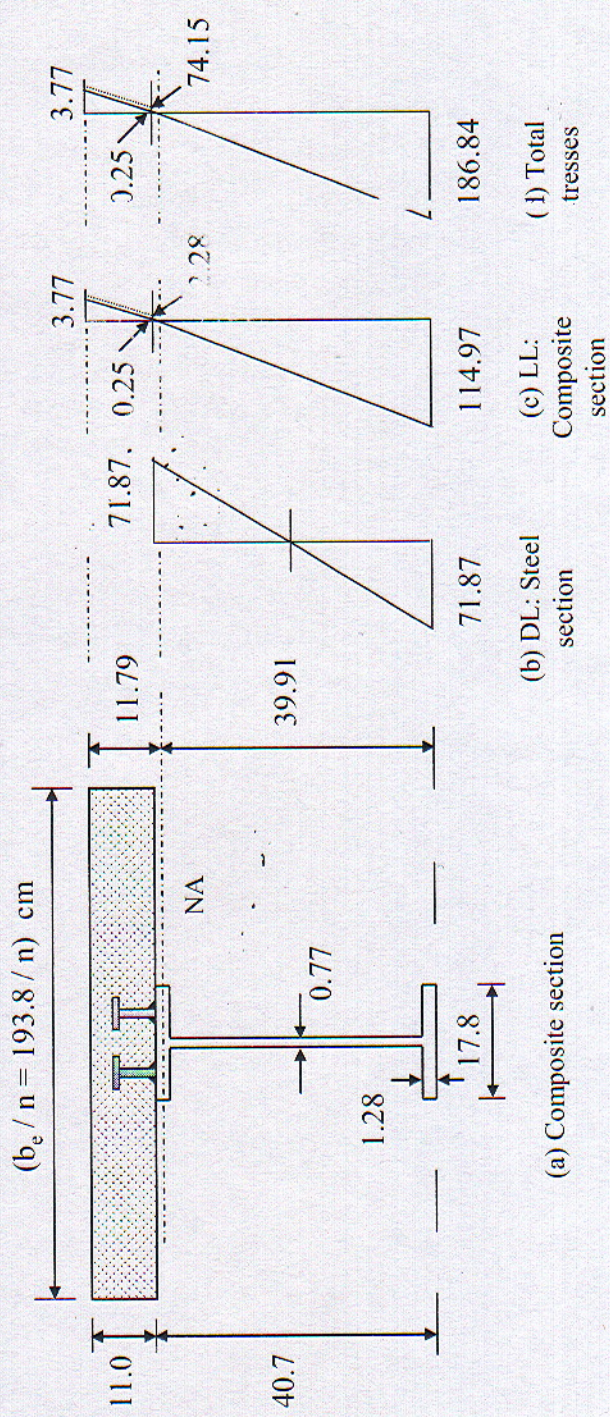
- تدقيق علاقة الكود : AISC

$$S_{tr} = [1.35 + 0.35 (M_L / M_D)] S_s$$

$$S_{tr} = [1.35 + 0.35 (179.86 / 76.18)] (1.06) (10)^{-3}$$

$$S_{tr} = 2.31 (10)^{-3} \text{ m}^3 > 1.56 (10)^{-3} \text{ m}^3$$





الشكل (5-16)



- تصميم الوصلات القصية :

$$V_h = 1/2 (0.85 f_c') b_e t_c = 0.5 (0.85) (22) (193.8) (11) (10)^{-4} (10)^3 \\ = 1993.23 \text{ KN}$$

$$V_h = 1/2 A_s F_y = 0.5 (76.10) (10)^{-4} (250) (10)^3 = 951.25 \text{ KN}$$

Use the smaller :

$$V_h = 951.25 \text{ KN}$$

$$\text{Assume : } d_{stud} = 16 \text{ mm} , q_{stud} = 35.59 \text{ KN/stud}$$

- عدد الوصلات القصية اللازمة لإجل الفعل المركب التام :

$$N_1 = \frac{V_h}{q_{stud}} = \frac{951.25}{35.59} = 26.7 \approx 28$$

تستعمل وصلات قصية على شكل أزواج والتباعد الطولي بين كل زوج :

$$P_r = \frac{L/2}{N_1/2} = \frac{920/2}{14} = 32.86 \text{ cm}$$

$$\text{Minimum: } 6 d_{st} < P_r < \text{Maximum: } 8 t_c$$

- تدقيق الجهد القاطع :

$$V_{max} = 1/2 (7.20 + 17.00) (9.2) = 111.32 \text{ KN}$$

$$f_v = \frac{V_{max}}{dt_w} = \frac{111.32 (10)^{-3}}{40.7 (0.77) (10)^{-4}} = 35.52 \text{ MPa}$$

$$f_v \leq 0.40 F_y = 100 \text{ MPa}$$

- تدقيق السهم :

$$\text{D.L.: } \Delta_D = \frac{5}{384} \frac{w_D L^4}{E_s I_s}$$

$$\Delta_D = \frac{5}{384} \frac{7.20 (10)^{-3} (9.2)^4 (10)^3}{200000 (215.60) (10)^{-6}} = 15.58 \text{ mm}$$

$$\text{L.L.: } D_{LL} = \frac{5}{384} \frac{w_L L^4}{E_s I_s} = 12.70 \text{ mm} < L/360$$

$$\Delta = 15.58 + 12.70 = 28.28 \text{ mm} < L/240 = 38.33 \text{ mm}$$

- تدقيق الطول غير المدعم جانبياً للجائز الفولاذي قبل تصلب البلاطة :



$$L = \frac{82700 C_b}{(0.60 F_y)(d / A_f)}$$

$$L = \frac{82700 (1.0)}{0.60 (250) [178.63]} = 3.09 \text{ m} < L = 9.2 \text{ m}$$

يجب تأمين دعم جانبي للجناح المضغوط كل  $920 / 3 = 307 \text{ cm}$  ريثما تتصلب البلاطة وذلك لمنع التحنيب الجانبي .

#### المثال (5-4) :

- 1- المطلوب تصميم مقطع مركب لجائز داخلي في أحد المباني المؤلفة من مكاتب وفقاً للكوود AISC . علماً بأن المنشأة غير مزودة بدعائم مؤقتة في أثناء التنفيذ .
  - 2- أعد الحل فيما لو تم استعمال صفيحة تغطية .
- المعطيات :

$$L = 920 \text{ cm} , \text{ Beam spacing} = 240 \text{ cm}$$

Concrete & steel:

$$t_c = 12.5 \text{ cm} , f'_c = 22 \text{ MPa}, \text{ Steel: } F_y = 350 \text{ MPa}$$

الحمولات بعد تصلب البلاطة :

$$\text{Live Load} = 7.2 \text{ KN} / \text{m}^2 \quad \text{حياة:}$$

$$\text{Partition} = 1.2 \text{ KN} / \text{m}^2 \quad \text{قواطع:}$$

$$\text{Ceiling} = 0.3 \text{ KN} / \text{m}^2 \quad \text{سقف:}$$

الحل :

١- تصميم الجائز المركب بدون صفيحة تغطية الشكل (5-17) :

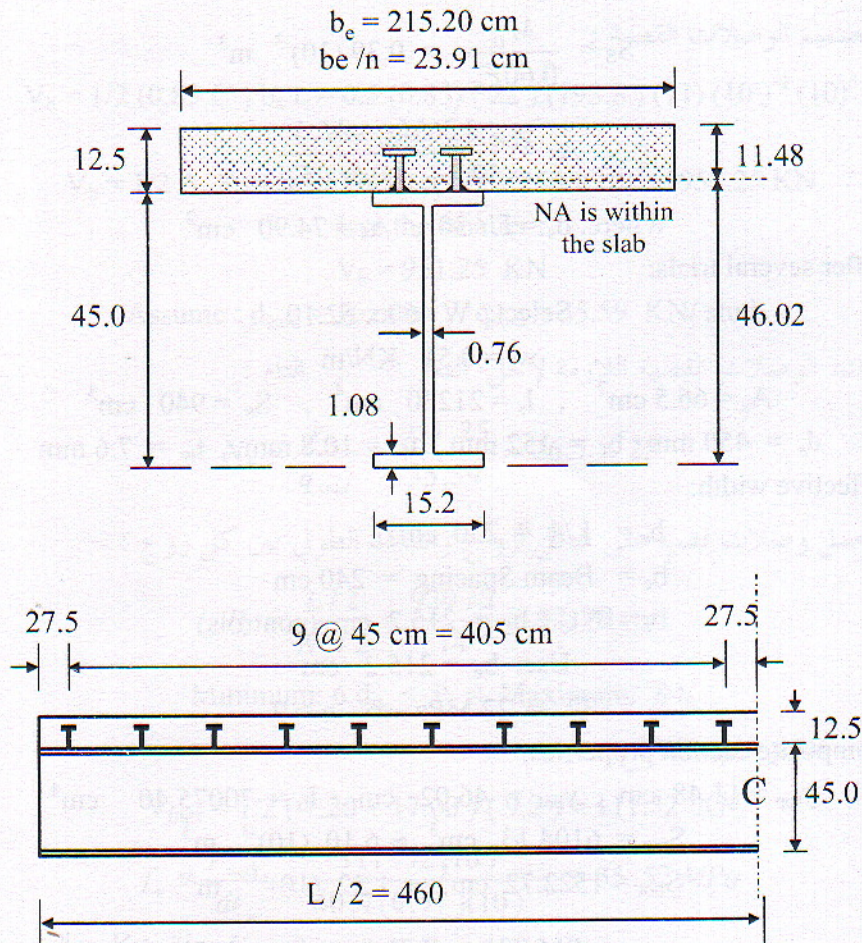
$$\text{Slab: } 0.125 (2.4) (24) = 7.20 \text{ KN/m}$$

$$\text{Steel Beam (Assumed)} = 0.45$$

$$\text{Total: } 7.65 \text{ KN/m}$$

$$M_D = \frac{7.65(9.2)^2}{8} = 80.94 \text{ KN.m.}$$





الشكل ( 5-17 ) المثال ( 5-4 )

Live Load :  $7.2 (2.4) = 17.28 \text{ KN/m}$

Partition Load :  $1.2 (2.4) = 2.88$

Ceiling Load:  $0.3 (2.4) = 0.72$

Total:  $20.88 \text{ KN/m}$

$$M_L = \frac{20.88(9.2)^2}{8} = 220.91 \text{ KN.m}$$

- اختيار مقطع الجوائز الفولاذي :

$$S_{\text{eff}} = \frac{M_D + M_L}{0.66 F_y} = 1.31 (10)^{-3} \text{ m}^3$$



$$S_s = \frac{M_D}{0.60 F_y} = 0.39 (10)^{-3} \text{ m}^3$$

$$A_s = \frac{2.2(M_D + M_L)}{[0.5d_s + 0.8t_c] F_y}$$

$$\text{Where: } d_s = L / 30, \quad A_s = 74.90 \text{ cm}^2$$

After several trials:

Select: W 460 x 52.10

$$w_t = 0.51 \text{ KN/m}$$

$$A_s = 66.5 \text{ cm}^2, \quad I_s = 21230 \text{ cm}^4, \quad S_s = 940 \text{ cm}^3$$

$$d_s = 450 \text{ mm}, \quad b_f = 152 \text{ mm}, \quad t_f = 10.8 \text{ mm}, \quad t_w = 7.6 \text{ mm}$$

Effective width:

$$b_e = L/4 = 230 \text{ cm}$$

$$b_e = \text{Beam Spacing} = 240 \text{ cm}$$

$$b_e = 16 t_c + b_f = 215.2 \text{ cm (controls)}$$

$$\text{Use: } b_e = 215.2 \text{ cm}$$

$$f'_c = 22 \text{ MPa} \Rightarrow n \approx 9$$

Composite section properties:

$$y_{\text{top}} = 11.48 \text{ cm}, \quad y_{\text{bot}} = 46.02 \text{ cm}, \quad I_{tr} = 70075.40 \text{ cm}^4$$

$$S_{\text{top}} = 6104.13 \text{ cm}^3 \approx 6.10 (10)^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_{\text{bot}} = 1522.72 \text{ cm}^3 \approx 1.52 (10)^{-3} \text{ m}^3$$

تصميم الوصلات القصية:

$$V_h = 0.5 (0.85 f'_c) b_e t_c$$

$$= 0.5 (0.85)(22)(215.20)(12.5)(10)^{-4} (10)^3 = 2515.15 \text{ KN}$$

$$V_h = 0.5 A_s F_y = 0.5 (66.5)(10)^{-4} (350)(10)^3 = 1163.75 \text{ KN}$$

$$\text{Use: } V_h = 1163.75 \text{ KN}$$

$$V_h' = V_h \left\{ \frac{S_{\text{eff}} - S_s}{S_{tr} - S_s} \right\}^2 = 1163.75 \left\{ \frac{1.31 - 0.940}{1.52 - 0.940} \right\}^2 = 473.60 \text{ KN}$$

$$\text{For: } d_{\text{stud}} = 19 \text{ mm}, \quad h_{\text{stud}} = 76 \text{ mm} \Rightarrow q_{\text{stud}} \approx 53 \text{ KN}$$

عدد الوصلات القصية بين نقطة انعدام العزم (المسند) والعزم الأعظم (منتصف

الجائز) :

$$\text{Complete interaction: } N_I = V_h / q_{\text{stud}} = 21.96 \approx 24$$



Partial interaction:  $N_1 = V_h' / q_{stud} = 8.94 \approx 10$

Spacing required:  $P_r = (L / 2) / (N_1 / n_{row})$

سيتم استعمال صفين من الوصلات على كامل طول الجسر :

$$P_r = (920 / 2) = 92.0 \text{ cm}$$

$$P_r < 0.5$$

Use :  $N_1 = 10$  ,  $d_{stud} = 1$

٢- إعادة تصميم الجانز المركب فيما لو تم استعمال صفيحة تغطية :

Alternative design with a cover plate

- اختيار مقطع الجانز الفولاذي (الشكل 5-18.a) :

$$d_s = L / 30 = 920 / 30 = 30.7 \text{ cm}$$

Select: W 310 x 28.3 ,  $w_t = 0.28 \text{ KN/m}$

$$A_s = 35.9 \text{ cm}^2 , d = 309 \text{ mm} , b_f = 102 \text{ mm}$$

$$t_f = 8.9 \text{ mm} , t_w = 6 \text{ mm}$$

$$I_s = 5410 \text{ cm}^4 , S_s = 350 \text{ cm}^3$$

With: PL 25 x 75 mm<sup>2</sup>

As a cover plate, the sectional properties:

$$I_s = 8854.86 \text{ cm}^4 , \text{ With plate: } S_s = 724.62 \text{ cm}^3$$

- مواصفات المقطع المركب مع صفيحة تغطية :

$$f_c' = 22 \text{ MPa} \implies n \approx 9 , b_e = 210.20 \text{ cm} \text{ (Controls)}$$

$$y_{top} = 10.58 \text{ cm} , y_{bot} = 35.32 \text{ cm}$$

$$I_{tr} = 47290.92 \text{ cm}^4 , S_{top} = 4469.84 \text{ cm}^3 \approx 4.47 (10)^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_{bot} = 1338.93 \text{ cm}^3 \approx 1.34 (10)^{-3}$$

- تصميم الوصلات القصية :

$$V_h = 0.5 (0.85) (22) (210.2) (12.5) (10)^{-4} (10)^3 = 2456.71 \text{ KN}$$

$$V_h = 0.5 (35.9 + 18.75) (10)^{-4} (350) (10)^3 = 956.38 \text{ KN}$$

Use :  $V_h = 956.38 \text{ KN}$

$$V_h' = 956.38 \left[ \frac{1.31 - 0.725}{1.34 - 0.725} \right]^2 = 865.35 \text{ KN}$$



$$N_1 = 865.35 / 53 = 16.33 \approx 18$$

- مواصفات المقطع المركب من دون صفيحة تغطية :

$$y_{top} = 8.63 \text{ cm} , y_{bot} = 34.77 \text{ cm}$$

$$I_{tr} = 24265.27 \text{ cm}^4 , S_{top} = 2811.73 \text{ cm}^3 \approx 2.81 (10)^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_{bot} = 697.88 \text{ cm}^3 \approx 0.70 (10)^{-3} \text{ m}^3$$

With Cover Plate :

$$S_{bot} = 1.34 (10)^{-3} \text{ m}^3$$

Without Cover Plate :

$$S_{bot} = 0.70 (10)^{-3} \text{ m}^3$$

- عزم الانعطاف عند نهاية صفيحة التغطية :

$$M_{plate} = 0.66 F_y S_{bot}$$

$$M_{plate} = 0.66 (350) (0.70) (10)^{-3} (10)^{-3} = 161.70 \text{ KN.m.}$$

$$\frac{(L_1/2)^2}{(L_2/2)^2} = \frac{M_{max} - M_{plate}}{M_{max}}, M_{max} = M_D + M_L = 301.85 \text{ KN.m.}$$

$$L_1 = 0.68 L = 626.60 \text{ cm}$$

- طول صفيحة التغطية فيما بعد نقطة الايقاف النظرية :

$$1.5 b_{plate} = 1.5 (7.5) = 11.25 \text{ cm}$$

طول صفيحة التغطية الكلي :

$$\text{Cover plate length} = 626.60 + 2(11.25) = 649.10 \approx 650 \text{ cm}$$

تصميم خيوط اللحام لصفيحة التغطية الشكل ( 5-18.b, 5-19 ) :

AISC Table 1.17.2: based on thicker of the cover plate or flange of the W 310 x 28.3, the min. weld size is: 5/16 inch  $\approx$  8 mm

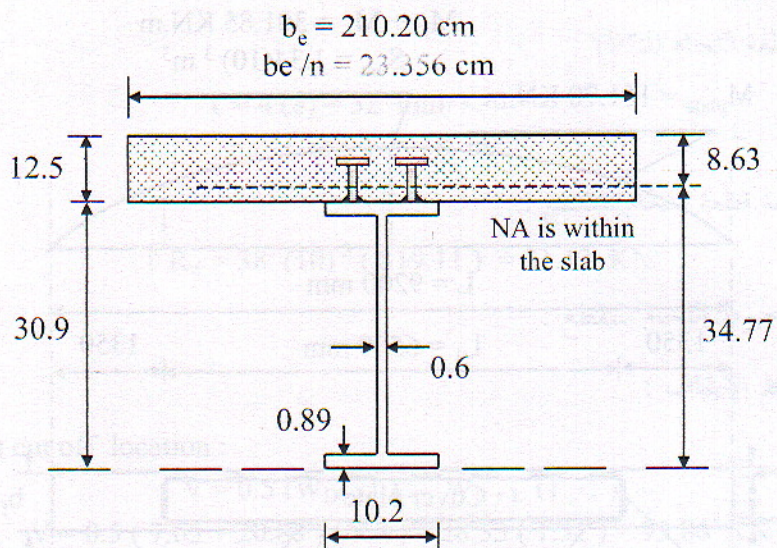
الإجهاد في منتصف صفيحة التغطية :

$$\sigma_{plate} = \frac{M_{plate}}{I_{tr}} \left[ y_{bot} - \frac{t_{plate}}{2} \right]$$

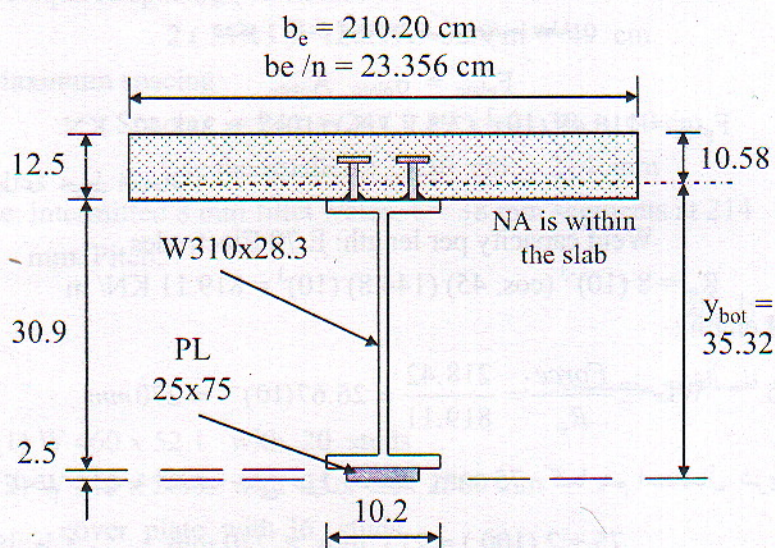
$$\sigma_{plate} = \frac{161.70(10)^{-3}}{47290.92(10)^{-8}} [35.32 - 1.25] (10)^{-2} = 116.49 \text{ MPa}$$

القوة في صفيحة التغطية :





(a) Without a cover plate



(b) With a cover plate

الشكل ( 5-18 ) المقطع المركب







طول قطعة اللحام المتقطع

$$\ell = 4 (8) = 32 \text{ mm} <$$

$$\text{Use : } \ell = 38 \text{ mm}$$

استطاعة قطعة اللحام المتقطع :

$$\ell R_w = 38 (10)^{-3} (819.11) = 31.13 \text{ KN}$$

تباعد خيوط اللحام المنقطع :

عند نقاط الإيقاف :

1) At cut off location :

$$V = 0.5 (W_{D+L}) L - W_{D+L} (1.31)$$

$$V = 0.5 (7.65 + 20.88) (9.2) - 28.53 (1.31) = 93.86 \text{ KN}$$

$$q = \frac{VQ}{I_w} = \frac{93.86 [2.5(7.5)(35.32 - 1.25)(10)^{-6}]}{47290.92(10)^{-8}} = 126.79 \text{ KN/m}$$

Required spacing ( two sides ) :

$$2 (31.13) / 126.79 = 0.49 \text{ m} = 49 \text{ cm}$$

2) Maximum spacing:

$$\text{Spacing} = 24 t_f = 24 (0.89) = 21.36 < 60 \text{ cm}$$

$$\text{Use the smaller : } 21.36 \text{ cm} \approx 214 \text{ mm}$$

Use: intermitted 8 mm fillet welds,  $\ell = 38 \text{ mm}$  segments at 214

mm. Pitch.

ملخص المسألة :

تقع المسألة بين تصميمين :

Case 1) W 460 x 52.1 with 20 studs

Case 2) W 310 x 28.3 with 25 x 75 x 2580 mm

cover plate with 36 studs

الوزن في الحالة الأولى للجوائز الفولاذي : 0.51 KN/m

الوزن في الحالة الثانية للجوائز الفولاذي وصفيحة التغطية :

$$0.28 + \{ 2.5 (7.5) (10)^{-4} (6.50) (76.98) / 9.2 \} = 0.38 \text{ KN/m}$$



## 5-8 تصميم الوصلات القصية - المبدأ المرن لقوة التعب

### Connector Design – Elastic Concept for Fatigue Strength : AASHTO1.7.48 . E

يتم توزيع الوصلات القصية في طريقة التصميم المرنة وفقاً لتغير قوة القص الأفقية بين البلاطة والجائز الفولاذي حيث تعتمد استطاعة الوصلات على مقدار الانزلاق Slip لقد اعتمد تصميم الوصلات القصية في الأبنية والجسور في الماضي على ذلك واستناداً إلى العلاقات التالية :

$$P_r = \frac{n_{row} q_{st}}{[(VQ)/I]} \quad (5-22)$$

حيث :

$q_{st}$  = استطاعة الوصلة القصية المسموحة (على القص) .

$(VQ)/I$  = قوة القص الأفقية في واحدة الطول .

$P_r$  = التباعد الأعظم بين الوصلات القصية طولانياً .

$n_{row}$  = عدد صفوف الوصلات القصية المستعملة في الاتجاه العمودي على الجائز .

فعند استعمال الطريقة المرنة ( Elastic Method ) ويأهمل الانزلاق فإن التعب لا يعد فعالاً (Not a controlling factor) ، أما عدد الوصلات القصية اللازم فهو أكثر من المطلوب ، أي أكثر من العدد المطلوب في حالة استعمال الطريقة الحدية

(Ultimate Flexural Strength) للعنصر المركب . أما إذا تم تخفيض عدد الوصلات القصية إلى العدد المطلوب وفقاً لمقاومة الانعطاف الحدية فإنه يمكن للانهيار بالتعب أن يصبح عاملاً أساسياً ( Governing Factor ) في هذه الحالة . ويأخذ التصميم الحالي للجسور في الحسبان كلاً من التعب والمقاومة الحدية .

عندما تتحرك الحمولة الحية على الجسر فإن قوة القص الشاقولية في أي نقطة من الجائز الرئيسي تتغير ، وفي حالة تحميل معينة يمكن الحصول على قوة قص عظمى ناتجة



عن الحمولة الحية مع الإضافة الديناميكية . وفي حالة تحميل أخرى يمكن الحصول على قوة قص صغرى ناتجة عن الحمولة الحية مع الإضافة الديناميكية التي يمكن أن تكون ذات إشارة معاكسة لقوة القص العظمى .

أما قيمة القص ( Shear Range,  $V_r$  ) في موقع ما من الجناز فهو الفرق الجبري بين القص الأعظمي والصغرى :

$$V_r = V_{\max} + V_{\min} = V_{\max} - (-V_{\min}) \quad (5-23)$$

أما قيمة القص الأفقي لكل طول خطي ( Per Linear Length ) في منطقة اتصال البلاطة مع الجائز الفولاذي فهي :

$$S_r = \frac{V_r Q}{I_{rr}} \quad \text{KN/m} \quad (5-24)$$

حيث :

$Q$  = العزم الستاتيكي لمساحة البيتون المضغوطة نسبة إلى المحور المحايد

للمقطع المركب في منطقة العزم الموجب . أما في منطقة العزم السالب فهو

العزم الستاتيكي لقضبان التسليح الفولاذية للبيتون المشدود الكائن ضمن العرض الفعال نسبة إلى المحور المحايد .

$I_{rr}$  = عزم عطالة المقطع المركب المتجانس في منطقة العزم الموجب . أما في منطقة

العزم السالب فإن  $I_{rr}$  فهو عزم عطالة المقطع المكون من مقطع الجائز الفولاذي

وقضبان تسليح البلاطة المشدودة الكائن ضمن العرض الفعال .

ويمكن إعطاء القيمة المسموحة لقوة القص الأفقية  $Z_r$  وفقاً لما يلي :

1- الوصلات القائمة (المسمارية) الملحومة ( Welded Studs ) :

$$Z_r = 6894.410 \alpha d_{st}^2 \quad \text{where: } h_{st} / d_{st} \geq 4 \quad (5-25)$$

( KN )

حيث :



$d_{st}$  = قطر الوصلة ( m ) و  $h_{st}$  = ارتفاع الوصلة ( m ) .

$\alpha$  = ثابت سيتم إعطاء قيمته فيما بعد وفقاً لعدد حلقات التعب في الجدول (5-4) .

2- الوصلات على شكل أقنية ( Channels ) :

$$Z_r = 175.578 \beta w \quad (5-26)$$

( KN )

حيث :

$\beta$  = ثابت سيتم إعطاء قيمته فيما بعد وفقاً لعدد حلقات التعب في الجدول (5-4) .

$w$  = طول القناة في الاتجاه المتعامد مع جناح الجائز الفولاذي ( m ) .

الجدول (5-4)

عدد الحلقات $N_{cycles}$	$0.1(10)^6$	$0.5(10)^6$	$2(10)^6$	Over $2(10)^6$
$\alpha$	13	10.6	7.85	5.5
$\beta$	4	3	2.4	2.1

أما تباعد الوصلات القصية المطلوب ( Required Pitch ) من أجل مقاومة

التعب فيغطي بالعلاقة التالية :

$$P_r = \frac{\sum Z_r}{S_r} = \frac{n_{row} Z_r}{S_r} \quad (5-27)$$

حيث :

$\sum Z_r = n_{row} Z_r$  القيمة المسموحة للقص الأفقي لكل الوصلات القصية الواقعة على

طرف أحد المقاطع العرضية للجائز الفولاذي ( KN )

$n_{row}$  = عدد صفوف الوصلات القصية المستعملة في الاتجاه العرضي للجائز

$S_r$  = قيمة القص الأفقي KN/m

يمكن التعبير عن قيمة جهد القص الأفقي بدلالة عدد حلقات التعب وفق العلاقة



التالية الموضحة في الشكل ( 5-20 ) :

$$\text{Log } N_c = 8.2609 - 0.0252 v \quad (5-28)$$

حيث :

$v$  = قيمة جهد القص الأفقي ( MPa ) .

Range of horizontal shear stress (MPa) or:  $v = S_r / p_r$

$N_c$  = عدد حلقات التعب .

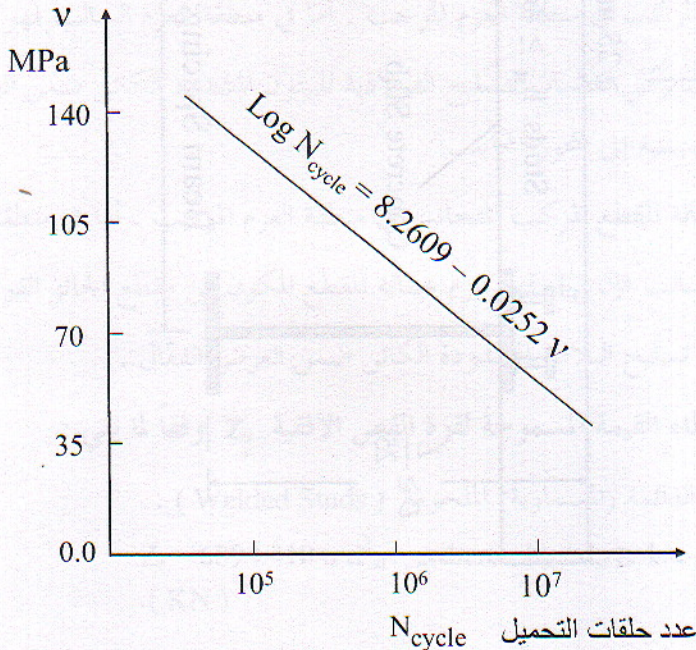
يجب التقيد بالملاحظات التالية في أثناء تصميم الوصلات القصية وفقاً

للنظام الأمريكي AASHTO كما هو مبين في الشكل ( 5-21 ):

1- يجب أن لا تتجاوز التباعدات الطولية بين الوصلات القصية 610 mm ما عدا

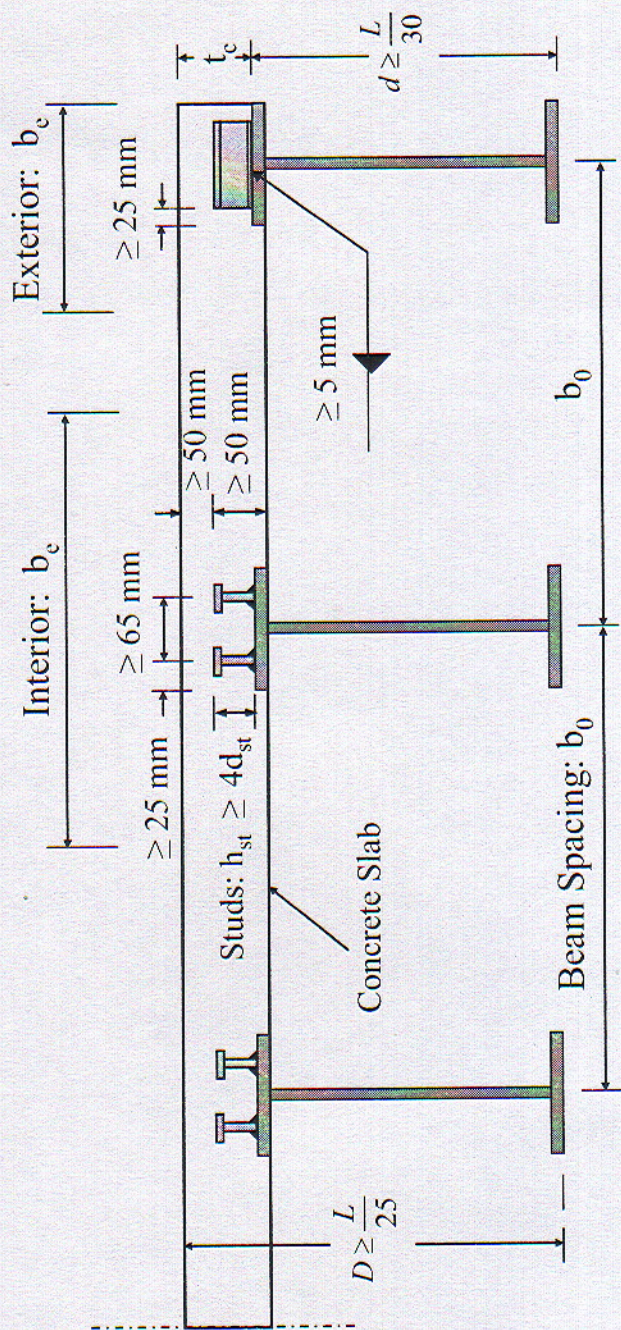
في المساند الداخلية للجيزان المستمرة حيث غالباً ما يساهم التباعد الأكبر

(Wider Spacing) بين الوصلات القصية في تفادي وضع الوصلات في مواقع



الشكل ( 5-20 ) مخطط اجهادات التعب





الشكل (5-21)



٤٧١ 6-12-009

الإجهادات العالية للجناح المشدود .

2- يجب أن لا تقل مسافة التغطية البيتونية فوق الوصلات القصية عن 50 mm .

3- يجب أن لا تقل مسافة امتداد الوصلات القصية فوق السطح السفلي للبلابة البيتونية عن 50 mm .

4- يجب أن لا تقل المسافة الصافية بين طرف جناح الجائز الفولاذي وطرف

الوصلات القصية عن 25 mm لجسور الطرق و 40 mm لجسور السكك الحديدية

5- يجب أن يتم التحام الوصلات القصية التي هي على أشكال أقنية ( أو بحاري ) على كامل أطوالها في الاتجاه العمودي على محور الجائز الفولاذي وأن لا يقل سمك خيط اللحام عن 5 mm .

Channels should be attached transverse to the girder axis, with fillet welds at least along heel and toe. Minimum weld size permitted for this purpose is 5 mm

6- يجب أن تكون الوصلات القصية ذات أقطار أسمية 20 mm أو 22 mm :

Studs should be 20 mm or 22 mm nominal diameter. The head diameter is 13 mm larger than the stud diameter. Stud Connectors are end-welded

## 5-9 السهم في حالة وجود فعل مركب جزئي

### Deflection for the Partial Interaction Case

تعرف الصلابة القصية Shear Stiffness على أنها نسبة القوة المؤثرة في الوصلة

القصية إلى مقدار انزلاق هذه الوصلة في الشكل ( 5-22 ) أو :

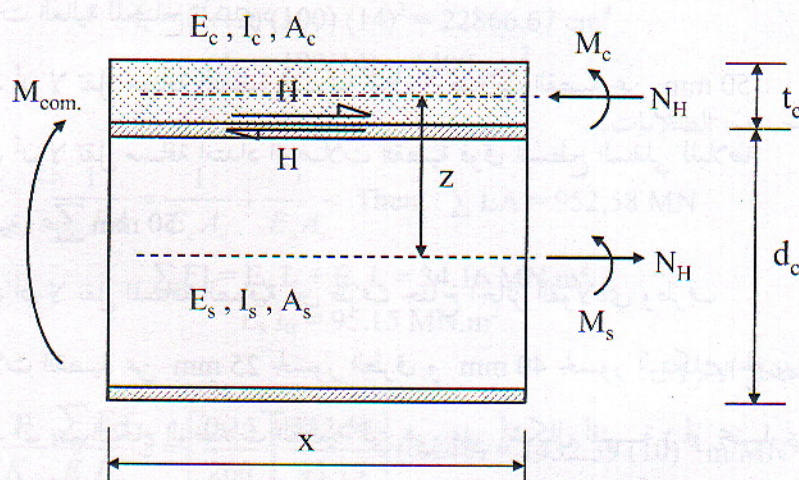
$$K_{st} = \frac{N_H}{s} , s = \frac{N_H}{K_{st}} \quad (5-29)$$

حيث:

$N_H$  = القوة المؤثرة في الوصلة القصية التي تسبب الانزلاق

$s$  = مقدار انزلاق الوصلة القصية أو :  $s = N_H / K_{st}$





الشكل ( 5-22 ) شريحة طولانية

أما قوة القص المطبقة عند مستوي الاتصال بين السطح السفلي للبلاطة والسطح العلوي للجائز:

$$q_x P_r = N_H \quad (5-30)$$

حيث:

$P_r$  = التباعد بين الوصلات القصية طولانياً Longitudinal spacing

$$q_x = \text{قوة القص المطبقة في واحدة الطول } x \text{ أو: } \frac{dN_H}{dx} = q_x$$

بتعويض قيمة  $q_x$  من العلاقة الأخيرة في (5-30) يتم الحصول على العلاقة التالية:

$$N_H = \frac{dN_H}{dx} P_r \quad (5-31)$$

والانفعال الناتج عن الانزلاق عند مستوي الاتصال بين الجائز الطولي والبلاطة بالاستفادة من العلاقة (5-29) و (5-31):

$$\varepsilon = \frac{ds}{dx} = \frac{d(N_H / K_{st})}{dx} = \frac{P_r}{K_{st}} \frac{d^2 N_H}{dx^2} = \varepsilon_s + (-\varepsilon_c) \quad (5-32)$$

حيث:



$\epsilon_c$  = الانفعال في الليف السفلي للبلاطة البيتونية (شد -) /  $\epsilon_s$  = الانفعال في الليف العلوي للجائز الفولاذي (ضغط +)

يمكن كتابة الانفعال الناتج عن الانزلاق في المعادلة (5-32) على النحو الآتي :

$$\frac{P_r}{K_{st}} \frac{d^2 N_H}{dx^2} = -\frac{1}{E_c} \left\{ \frac{N_H}{A_c} - \frac{M_c y_c}{I_c} \right\} + \frac{1}{E_s} \left\{ -\frac{N_H}{A_s} + \frac{M_s y_s}{I_s} \right\}$$

$$\frac{P_r}{K_{st}} \frac{d^2 N_H}{dx^2} = -\frac{N_H}{E_c A_c} - \frac{N_H}{E_s A_s} + \frac{M_c y_c}{E_c I_c} + \frac{M_s y_s}{E_s I_s} \quad (5-33)$$

حيث:

$M_c$  و  $M_s$  = عزمي الانعطاف الداخلي في كل من البلاطة البيتونية و الجائز الفولاذي:

$$\frac{M_c}{E_c I_c} = \frac{M}{E_c I_c + E_s I_s}, \quad \frac{M_s}{E_s I_s} = \frac{M}{E_c I_c + E_s I_s} \quad (5-34)$$

$y_c$  = بعد الليف السفلي للبلاطة البيتونية عن محورها المحايد

$y_s$  = بعد الليف العلوي للجائز الفولاذي عن محوره المحايد

$A_c$  و  $A_s$  = مساحات كل من البيتون الفعّال (b\_e t\_c) والجائز الفولاذي

$I_c$  و  $I_s$  = عزم عطالة كل من البيتون الفعّال للبلاطة والجائز الفولاذي حول المحورين

المحايدين لكل منهما

$E_c$  و  $E_s$  = عاملا المرونة لكل من البيتون والفولاذ

عزم الانعطاف المركب استناداً إلى الشكل (5-22) :

$$M_{com} = M_s + M_c + N_H z = M + N_H z \quad (5-35)$$

حيث:

$z$  = المسافة بين مركز ثقل البلاطة ومركز ثقل الجائز أو :  $z = 0.5 (t_c + d_s)$

ويمكن كتابة ما يلي في حالة المقطع المركب:



صلابة محور (A)  $\sum EI = E_c I_c + E_s I_s$  and  $\frac{1}{\sum EA} = \frac{1}{E_c A_c} + \frac{1}{E_s A_s}$  (5-36)

وصلابة المقطع المركب:

$$E_s I_{tr} = \sum EI + \sum EA z^2 \quad (5-37)$$

يمكن كتابة العلاقة (5-33) على النحو الآتي بالاستفادة من العلاقات (5-34) و (5-35) و (5-36) وبعض العمليات الرياضية:

$$\begin{aligned} \frac{P_r}{K_{st}} \frac{d^2 N_H}{dx^2} &= \frac{(M_s + M_c)z}{\sum EI} - \frac{N_H}{\sum EA} = \frac{(M_{com} - N_H z)z}{\sum EI} - \frac{N_H}{\sum EA} = \\ &= \frac{M_{com} z}{\sum EI} - \frac{N_H z^2}{\sum EI} - \frac{N_H}{\sum EA} = \frac{M_{com} z}{\sum EI} - N_H \left[ \frac{z^2}{\sum EI} + \frac{1}{\sum EA} \right] = \\ &= \frac{M_{com} z}{\sum EI} - N_H \left[ \frac{\sum EA z^2 + \sum EI}{\sum EI \sum EA} \right] \\ \frac{P_r}{K_{st}} \frac{d^2 N_H}{dx^2} &= \frac{M_{com} z}{\sum EI} - N_H \frac{E_s I_{tr}}{\sum EI \sum EA} \quad (5-38) \end{aligned}$$

بضرب طرفي العلاقة (5-38) بالجدد  $\frac{\sum EA}{E_s I_{tr}}$  ، والاستفادة من العلاقة (5-37) ثم

الإصلاح ونسمية الحد:  $s = \frac{P_r \sum EA}{K_{st} E_s I_{tr}}$  عامل الانزلاق Slip Coefficient:

$$\begin{aligned} s \frac{d^2 N_H}{dx^2} &= \frac{M_{com}}{\sum EI} \frac{\sum EA z^2}{E_s I_{tr}} - \frac{N_H z}{\sum EI} \\ s \frac{d^2 N_H}{dx^2} &= \frac{M_{com}}{\sum EI} \frac{(E_s I_{tr} - \sum EI)}{E_s I_{tr}} - \frac{N_H z}{\sum EI} \\ s \frac{d^2 N_H}{dx^2} &= -\frac{M_{com}}{E_s I_{tr}} + \frac{M_{com} - N_H z}{\sum EI} \quad (5-39) \end{aligned}$$

نصف قطر الانحناء:



$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} = \frac{M_s + M_c}{\sum EI} = \frac{M_{com} - N_H z}{\sum EI} \quad (5-40)$$

بحل المعادلتين (5-40) و (5-39) والإصلاح:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M_{com}}{E_s I_{tr}} + s \frac{d^2 N_H}{dx^2} \quad (5-41)$$

بالتكامل مرتين للعلاقة (5-41):

$$y_{part} = y_{full} + s N_H$$

$y_{part}$  = السهم الناتج عن الفعل المركب الجزئي

$y_{full}$  = السهم الناتج عن الفعل المركب التام

المثال (5-5) :

أوجد السهم الناتج عن الحمولة المبينة المطبقة على الجائز المركب في الشكل (5-23) .  
علماً بأن المنشأة مزودة بدعائم مؤقتة.

المعطيات:

Slab:  $b_e = 1000 \text{ mm}$  ,  $t_c = 140 \text{ mm}$  ,  $E_c = 25900 \text{ MPa}$

Steel Beam: W 356 x 51

$A_s = 64.60 \text{ cm}^2$  ,  $I_s = 14118 \text{ cm}^4$  ,  $d_s = 35.6 \text{ cm}$

$b_f = 171.5 \text{ mm}$  ,  $t_f = 11.5 \text{ mm}$  ,  $t_w = 7.4 \text{ mm}$

Shear Connectors:  $P_r = 150 \text{ mm}$  ,  $K_{st} = 260 \text{ MN/m}$

الحل :

- المواصفات المقطعية:

Composite:

$$y_{top} = 13.51 \text{ cm} < t_c = 14 \text{ cm}$$

$$y_{bot} = 36.09 \text{ cm} , I_{tr} = 47576.27 \text{ cm}^4$$

$$z = 0.5 (d_s + t_c) = 24.80 \text{ cm}$$

Steel beam:

$$A_s = 64.60 \text{ cm}^2 , I_s = 14118 \text{ cm}^4$$

Concrete slab:



$$I_c = (1/12) (100) (14)^3 = 22866.67 \text{ cm}^4$$

$$A_c = 100(14) = 1400 \text{ cm}^2$$

- حساب الصلابات:

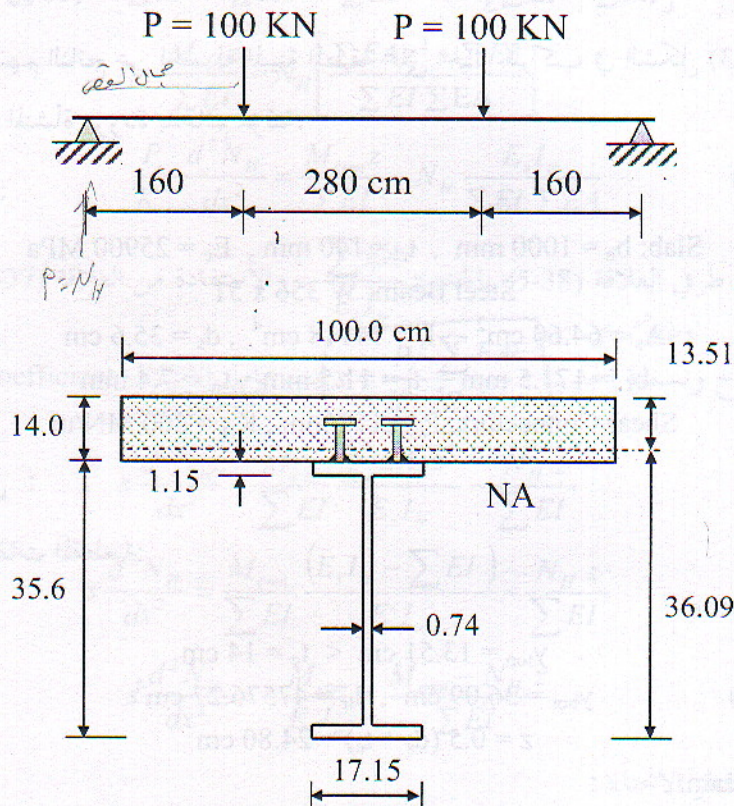
$$\sum EA = \frac{1}{E_c A_c} + \frac{1}{E_s A_s} \quad \text{Then, } \sum EA = 952.58 \text{ MN}$$

$$\sum EI = E_c I_c + E_s I_s = 34.16 \text{ MN.m}^2$$

$$E_s I_{tr} = 95.15 \text{ MN.m}^2$$

- عامل الانزلاق:

$$s = \frac{P_r}{K_{st}} \frac{\sum EA}{E_s I_{tr}} z = \left[ \frac{0.15}{260} \right] \left[ \frac{952.58}{95.15} \right] (0.248) = 1432.39 (10)^{-6} \text{ m/MN}$$



الشكل ( 5- 23 ) المثال ( 5- 5 )



- السهم:

$$y_{Full} = \frac{PL^3}{6E_s I_w} \left\{ \frac{3}{4} \frac{a}{L} - \left( \frac{a}{L} \right)^3 \right\} = 6.85 \text{ mm}$$

$$s N_H = 1432.39 (10)^{-6} (100)(10)^{-3} (10)^3 = 0.143 \text{ mm}$$

$$y_{Full} = 6.85 + 0.14 = 6.99 \text{ mm}$$

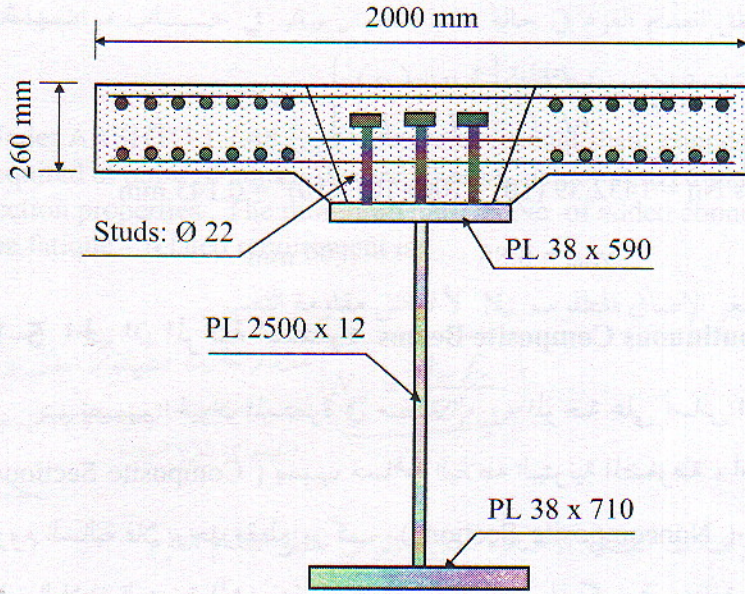
## 5-10 الجيزان المركبة المستمرة Continuous Composite Beams

يتم تصميم الجيزان المستمرة في منطقة العزوم الموجبة على أساس المقطع المركب ( Composite Section ) بسبب مساهمة البلاطة البيتونية المضغوطة ، أما في منطقة العزوم السالبة فلا يوجد مقطع مركب ( Noncomposite Section ) بسبب عدم فعالية البلاطة البيتونية المشدودة . ويوجد بعض الفعل المركب في منطقة العزوم السالبة بسبب وجود فولاذ التسليح الطولي .

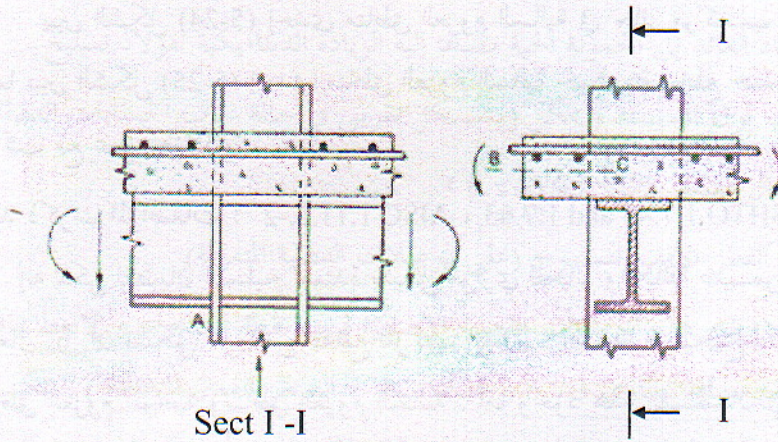
يبين الشكل (5-24) إحدى مناطق العزوم السالبة في جائر مركب مستمر . كما يبين الشكل (5-25) إحدى مناطق العزوم السالبة حيث يتقاطع جائر أفقي مركب مع عمود فولاذي .

لقد ذكرت المواصفات : AISC 1.11.2.-2 ، AASHTO 1.7.48 and 1.7.63 ، إنه يمكن لقضبان التسليح الممتدة بشكل موازي للجائر والكائنة ضمن العرض الفعال  $b_e$  أن تشكل جزءاً من المقطع المركب الفعال . إن هذا صحيح لكل من مناطق العزوم الموجبة ومناطق العزوم السالبة . أما وجود هذه القضبان في مناطق العزوم الموجبة فإن تأثيره قليل بينما له تأثير هام في مناطق العزوم السالبة بسبب كون البيتون في مناطق العزوم السالبة في حالة الشد . فإذا تم اعتبار فولاذ التسليح الطولي للبلاطة البيتونية في حساب مواصفات المقطع المركب فإنه يجب على القوة الناتجة عنه أن تتحول إلى قوة قص بواسطة الوصلات القصية .





الشكل ( 5-24 ) إحدى مناطق العزوم السالبة في جاذز مركب مستمر



الشكل ( 5-25 ) إحدى مناطق العزوم السالبة

وهكذا فإن القوة الناتجة عن فولاذ التسليح الطولي :

- في منطقة العزوم السالبة:  $T = A_{sr} f_{yr}$

- في منطقة العزوم الموجبة:  $C = A'_{sr} f_{yr}$



حيث :

$A_{sr}$  = مساحة قضبان التسليح الطولية المشدودة الواقعة ضمن العرض الفعال  $b_e$

فوق المسند الداخلي في منطقة العزم السالب الأعظمي.

$A'_{sr}$  = مساحة قضبان التسليح الطولية المضغوطة الواقعة ضمن العرض الفعال  $b_e$

والتي تعمل مع البلاطة البيتونية المضغوطة في منطقة العزم الموجب الأعظمي.

$f_{yr}$  = إجهاد الخضوع لقضبان التسليح الطولية .

وقوة القص الأفقية التصميمية في منطقة العزم السالب :

$$\bar{V}_h = 1/2 A_{sr} f_{yr}$$

وفي منطقة العزم الموجب حيث يعمل فولاذ التسليح الطولي (الذي يمكن أن يدخل في

مواصفات المقطع المركب) على الضغط فإن قوة القص الأفقية التصميمية:

$$V_h = \frac{1}{2} [0.85 f'_c b_e t_c + A'_{sr} f_{yr}] \quad (5-42)$$

يشير العامل 1/2 المستعمل في العلاقات السابقة إلى التصميم وفقاً لطريقة إجهاد

التشغيل ( Working Stress Method ) . يبدو من المواصفات AISC , AASHTO

أن شمول فولاذ التسليح الطولي  $A_{sr}$  في مناطق العزوم السالبة هو أمر اختياري

( Optional ) . وإذا تم شمول  $A_{sr}$  في حساب مواصفات المقطع المركب في مناطق

العزوم السالبة فإن قوة القص الأفقية  $\bar{V}_h$  الناتجة عن هذه القضبان يمكن أن تبلور من

خلال وجود الوصلات القصية .

ملاحظة

وفي الجيزان المستمرة أيضاً ولأنه يمكن لمنطقة العزم الموجب الناتجة عن الحمولة

الحية أن تتسع إلى ما بعد نقاط انعدام العزم للحمولة الميتة فإن هناك حاجة إلى

وصلات قصية إضافية في جوار ( Vicinity ) هذه النقاط ، عند عدم اعتبار فولاذ

التسليح الطولي للبلاطة  $A_{sr}$  في حساب مواصفات المقطع (في المنطقة السالبة) .

ذكرت المواصفات AASHTO 1.7.48 E أن هناك وصلات قصية أصغرية إضافية



مطلوبة في مناطق انعدام العزم في حالة عدم استعمال  $A_{sr}$  في حساب مواصفات المقطع وذلك لمقاومة الإجهادات الناتجة عن التعب :

Under AASHTO 1.7.48 E . There are additional shear connectors required at point of contra flexure when  $A_{sr}$  is not utilized in computing section properties . The minimum number  $N_e$  of added connectors for the fatigue – related requirement is :

إن العدد الأصغر الإضافي المطلوب  $N_e$  لأغراض مقاومة التعب :

$$N_e = \frac{A_{sr} f_r}{Z_r} \quad (5-43)$$

حيث :

عدد وصلات قصية في منطقة انعدام العزم  
توضع الوصلات القصية صاعية على مسافة  $\frac{L}{3}$  من نقطة انعدام العزم



$N_e$  = عدد الوصلات القصية الإضافية لكل جائر في نقطة انعدام العزم

$A_{sr}$  = مسافة قضبان التسليح الكلية الطولية في منطقة المسند الداخلي ضمن العرض

الفعال في المنطقة السالبة

$f_r$  = الإجهاد العائد إلى الحمولة الحية مضافاً إليه الزيادة الديناميكية لفولاذ تسليح

البلاطة فوق المسند ( يمكن وبشكل تقريبي في حالة غياب الحسابات الدقيقة

استعمال القيمة  $f_r = 68.95 \text{ MPa}$   
 $\approx 69$

$Z_r$  = قيمة القص الأفقي المسموح (على الوصلات القصية المتفرقة)

يجب وضع هذه الوصلات القصية الإضافية قرب نقطة انعدام عزم الانعطاف

الميت وضمن مسافة تساوي  $b_e / 3$  ( حيث:  $b_e$  = العرض الفعال للبلاطة ) . يمكن

وضعها على كل طرف من نقطة انعدام عزم الانعطاف الميت أو يمكن ان يتم تركيزها

حول هذه النقطة ( AASHTO 1.7.48.E. 1.C. ) .

تجدر الإشارة إلى أن شكل الانهيار عادة في مناطق العزوم الموجبة هو الانهيار

بالانسحاق ( Crushing Failure ) لبيتون البلاطة . وهذا يفرض بالضرورة أنه :

- لا يوجد انهيار للوصلات القصية .



- لا يوجد أي انفصال لولاني بين بلاطة البيتون المسلح والجائز الفولاذي .

- لا يتم الانهيار بالقصر للبلاطة البيتونية أيضاً .

أما في مناطق العزوم السالبة فإن شكل الانهيار الغالب عادة هو التحنيب المحلي للجائز

( Local Buckling ) وهكذا فإنه لا بد من تحقيق علاقات التحنيب الفتلي الجانبي

( Lateral – Torsional Buckling Formulas ) .

لقد بينت المواصفات AISC 1.5.1.4.5 و AASHTO 1.7.1 and 1.7.59 D

كيفية معالجة نقطة انعدام العزم على وجه العموم على أنها نقطة مثبتة جانبياً (Braced Point) إذا تم دعم الجناح العلوي في مناطق العزوم السالبة . وهكذا فإنه يمكن تطبيق شروط التحنيب المحلي على الجناح والجسد وفقاً للمواصفات:

AASHTO 1.7.43 and 1.7.59 , AISC 1.5.1.4.1 and 1.9.

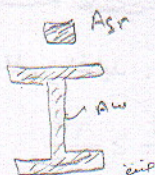
تبدي الجيزان المركبة المستمرة في مناطق العزوم السالبة مقاومة أكبر وبصورة ملحوظة للتحنيب الجانبي ( Lateral – Buckling ) من الجيزان المستمرة غير المركبة التي لا تملك بلاطة بيتونية ملتصقة على السطح العلوي لجناح الجائز الفولاذي .

وينصح من أجل تفادي التحنيب المحلي للجناح السفلي للجيزان المركبة في مناطق العزوم السالبة زيادة صلابة هذا الجناح المضغوط السفلي بوساطة صفحة نفطية (Cover plate) . تزيد صفحة التغطية المذكورة من الصلابة الفتلية (Tensional Rigidity) لمقاومة التحنيب الجانبي .

في المرفق التالي

على أنه يجب أن تتحقق شروط منع التحنيب المحلي التالية للحالات التي يتكون

فيها الجناح المضغوط من صفحة واحدة ( أي من دون صفحة تغطية ):



$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{142}{\sqrt{F_y}} \quad \text{For} : \frac{A_{sr}}{A_w} \leq 1$$

(5-44)

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{129}{\sqrt{F_y}} \quad \text{For} : 1 \leq \frac{A_{sr}}{A_w} \leq 2$$



حيث :

$$F_y = \text{إجهاد الخضوع لفولاذ الجيزان الطولانية MPa}$$

$$A_w = \text{مساحة جسد الجائز الفولاذي}$$

$$t_f, b_f = \text{عرض وسماكة الجناح المضغوط}$$

إن شروط منع التحنيب المحلي هذه للجناح المضغوط أكثر محافظة (More Conservative) من الشروط المطلوبة في المواصفات AISC , AASHTO , وللمقاطع المحكمة ( Compact Sections ) وفقاً للمرجع التالي:

Hamada, S. and Longworth, J., " Ultimate Strength of Continuous Composite Beams " Journal of Structural Division , ASCE , 102 , ST 7 ( July 1976 ) Pp. 1463 – 1478 .

#### المثال (5-6) :

المطلوب التحقق من قابلية المقطع المركب المبين في الشكل (5-26) لمقاومة عزم الانعطاف الكلي السالب  $M_{D+L} = 185 \text{ KN.m}$  . حيث إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح  $f_y = 345 \text{ MPa}$  ، وإجهاد الخضوع للجائز الفولاذي  $W 310 \times 38.7$  هو  $F_y = 415 \text{ MPa}$  ، أما المقاومة المميزة للبيتون فهي  $f'_c = 25 \text{ Mpa}$

#### الحل :

1- مواصفات مقطع الجائز الفولاذي :

$$W 310 \times 38.7, A_s = 4.94 (10)^{-3} \text{ m}^2$$

$$d = 310 \text{ mm} , b_f = 165 \text{ mm} , t_f = 9.7 \text{ mm} , t_w = 5.8 \text{ mm}$$

$$I_x = 84.9 (10)^{-6} \text{ m}^4 , S_x = 0.55 (10)^{-3} \text{ m}^3$$

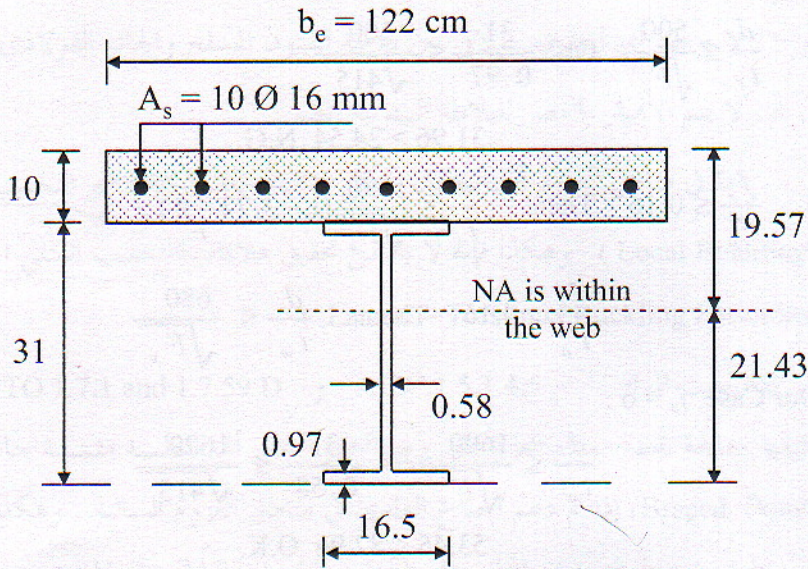
نحسب مواصفات المقطع بإهمال بيتون البلاطة لكونه واقعاً على جهة الشد من

المحور المحايد . N . A :

$$A_{sf} = 10 \pi (0.8)^2 = 20.11 \text{ cm}^2$$

$$y_{bot} = \frac{\sum A \bar{y}}{\sum A} = \frac{20.11(36) + 49.4(15.5)}{20.11 + 49.4} = 21.43 \text{ cm}$$





الشكل ( 5-26 ) المقطع المركب في منطقة العزم السالب

$$I_{tr} = 8490 + 49.4 (21.43 - 15.5)^2 + 20.11(36-21.43)^2$$

$$I_{tr} = 14496.2 \text{ cm}^4$$

معامل المقطع نسبة إلى أقصى الألياف السفلية:

$$S_{tr} (\text{bottom}) = \frac{14496.2}{21.43} = 676.44 \text{ cm}^3$$

$$S_{tr} (\text{at } A_s) = \frac{14496.2}{(19.57 - 5.0)} = 994.93 \text{ cm}^3$$

2- التحقق من الإجهادات :

$$f_b = \frac{M_{D+L}}{S_{tr}} = \frac{185 (10)^{-3}}{676.44 (10)^{-6}} = 273.49 \text{ MPa}$$

$$F_b = 0.66 F_y = 0.66 (415) = 273.9 \text{ MPa} > f_b \quad \text{o.k.}$$

بما أن الإجهاد المسموح  $F_b = 0.66 F_y$  فإنه على الجائز الفولاذي أن يحقق

شروط المقطع المحكم التالية ( Compact section requirements ) :

$$1. \quad \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{F_y}} \quad \text{Or} \quad \frac{16.5}{2(0.97)} \leq \frac{170}{\sqrt{415}}$$

$$8.50 > 8.34 \text{ N.G.}$$



$$2. \quad \frac{d}{t_f} \leq \frac{500}{\sqrt{F_y}} \quad \text{Or} \quad \frac{31}{0.97} \leq \frac{500}{\sqrt{415}}$$

$$31.96 > 24.54 \text{ N.G.}$$

$$3. \quad \frac{f_a}{F_a} \leq 0.16 \quad \text{Then:} \quad \frac{d}{t_w} \leq \frac{1690}{\sqrt{F_y}} (1 - 3.74 \frac{f_a}{F_y})$$

$$\frac{f_a}{F_a} > 0.16 \quad \text{Then:} \quad \frac{d}{t_w} \leq \frac{680}{\sqrt{F_y}}$$

Our Case  $f_a = 0$  :

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{1690}{\sqrt{F_y}} \Rightarrow \frac{31}{0.58} \leq \frac{1690}{\sqrt{415}}$$

$$53.45 \leq 82.96 \text{ O.K.}$$

$$4. \quad L_c = \frac{0.20 b_f}{\sqrt{415}} \quad \text{Or} \quad L_c = \frac{139000}{F_y (d / A_f)}$$

$$L_c = \frac{0.2(165)}{\sqrt{415}} = 1.62 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{139000}{415[0.31/(0.165)(0.0097)]} = 1.73 \text{ m}$$

ونظراً لعدم تحقيق شروط المقطع الخكم يجب إعادة حل المسألة باستعمال مقطع فولاذي أكبر أو استعمال مقطع فولاذي غير محكم على أن الفقرة التالية لا تتأثر بمقطع الجانز الفولاذي.

3- الوصلات القصية :

يتم اختيار وصلة قصية قطرها : 16 mm وارتفاعها : 64 mm

فيكون :

$$E_c = 4729.77 \sqrt{f'_c} = 4729.77 \sqrt{25} = 23648.85 \text{ MPa}$$

$$q_{st} = 0.4 d_s^2 \sqrt{f'_c E_c} , \text{ Where: } h_{st}/d_{st} \geq 4$$

$$q_{st} = 0.07874 \text{ MN} = 78.82 \text{ KN}$$

$$q_{all} = q/2 = 39.37 \text{ KN}$$

W



$$V_h = \frac{A_{sr} f_{yr}}{2} = \frac{20.11(10)^{-4} (345)}{2} = 0.347 \text{ MN} = 346.9 \text{ KN}$$

أما عدد الوصلات القصية المطلوبة N بين نقطة عزم الانعطاف الأعظم السالب (المسند) ونقطة انعدام العزم :

$$N_1 = \frac{V_h}{q_{all}} = \frac{346.9}{39.37} = 8.8 \approx 10$$

يجب استعمال 10 وصلات قصية لأجل منطقة العزم السالب .



